



## **PROJETO DE GRADUAÇÃO**

# **DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA PARA A DOSAGEM DE MICRONUTRIENTES PARA RAÇÃO ANIMAL**

Por,  
**Vinícius Gonçalves de Carvalho**

**Brasília, 20 de Fevereiro de 2013**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
Faculdade de Tecnologia  
Departamento de Engenharia Mecânica

## PROJETO DE GRADUAÇÃO

# DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA PARA A DOSAGEM DE MICRONUTRIENTES PARA RAÇÃO ANIMAL

POR,

**Vinícius Gonçalves de Carvalho**

Relatório submetido como requisito parcial para obtenção  
do grau de Engenheiro Mecânico.

### **Banca Examinadora**

Prof. Aida Alves Fadel, UnB/ ENM (Orientador)

---

Prof. Dianne Magalhães Viana, UnB/ ENM

---

Prof. Jorge Luiz de Almeida, UnB/ ENM

---

Brasília, 20 de Fevereiro de 2013

## **Dedicatória**

*Dedico este trabalho primeiramente ao meu pai, Gilmar, por sempre ter sido meu grande incentivador, a minha mãe Luce Cleide, pela compreensão e amor que sempre me foi dado. Dedico também a minha namorada e amigos, que sempre estiveram ao meu lado. Dedico a também a professora Aida, que desde o início acreditou e apoiou essa ideia.*

## **Agradecimentos**

*Agradeço primeiramente a Deus por ter me permitido chegar até aqui, ao meu pai Gilmar e minha mãe Luce por terem sempre se esforçado ao máximo para me dar a melhor educação e aos meus irmãos Hyago e Mayara por terem apoiado todo este processo. Agradeço também a minha namorada Marina que pacientemente leu e releu este trabalho a meu pedido, aos amigos Bruno Moreira, Bruno Farias, Eduardo Neves, Lucas, Renatha Costa, Rodrigo Clemente, Tiago Santana e Tales do Couto que me ajudaram muito tanto quando estive em Brasília como no período que estive ausente, agradeço aos colegas de trabalho Nevielson por ter me ajudado com o processo de automação e José Neto por ter me ensinado como funciona o processo de fabricação.*

---

## **RESUMO**

Este texto explica o processo de fabricação de alguns tipos de ração, fazendo uso desta para justificar a necessidade do desenvolvimento do sistema de dosagem dos micronutrientes utilizados em rações, proposto por este trabalho. A partir da análise dos micronutrientes comumente utilizados e do estudo do processo de fabricação foi concebido um sistema que usa como base um transportador helicoidal e um sistema de automação. O texto oferece também toda a fundamentação teórica para o dimensionamento mecânico dos componentes.

---

## **ABSTRACT**

This paper explains the manufacturing process of some types of animal feed, using this to justify the need to develop the system of dosage of micronutrients used in animal feed, proposed by this work. From the analysis of micronutrients that is commonly used and the study of the manufacturing process, a system is designed that uses a screw conveyor base and an automated system. The text also offers the entire theoretical basis for the mechanical design of components.

# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
1.1 FABRICAÇÃO DE RAÇÕES ANIMAIS	1
1.2 JUSTIFICATIVA	4
1.3.1 Objetivos Gerais	4
1.3.2 Objetivos Específicos	4
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	5
<b>2 PROCESSO DE FABRICAÇÃO</b>	<b>6</b>
2.1 FÁBRICA ESTUDADA	6
2.2 DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO	9
2.3 FLUXOGRAMA DE PRODUÇÃO	11
<b>3 INSUMOS</b>	<b>12</b>
3.1 MACRONUTRIENTES	12
3.2 MICRONUTRIENTES	13
3.2.1 Micronutrientes Estudados	13
3.2.2 Dosagem	14
3.2.3 Riscos	16
3.2.4 Cuidados	17
<b>4 CONCEPÇÃO DO SISTEMA</b>	<b>18</b>
<b>5 DIMENSIONAMENTO DA MÁQUINA</b>	<b>20</b>
5.1 DIMENSIONAMENTO DO TRANSPORTADOR HELICOIDAL	20
5.1.1 Dimensionamento do Eixo do Helicoide	24
5.1.2 Calha do Transportador Helicoidal	27
5.1.3 Terminais da Calha	28
5.2 DIMENSIONAMENTO DO SILO DE MICRONUTRIENTE	29
5.3 CAIXA DE PESAGEM	33
5.4 SELEÇÃO DE ROLAMENTOS	34
5.5 ESTRUTURA DE SUSTENTAÇÃO	36
5.6 SISTEMA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO	37
5.7 SELEÇÃO DE COMPONENTES DE AUTOMAÇÃO	38
5.7.1 Sistema de Controle	38
5.7.2 Células de Carga	39
5.7.3 Atuador Rotativo	40
5.7.4 Motoredutor do Transportador Helicoidal	42
<b>6 APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS</b>	<b>43</b>
<b>7 CONCLUSÃO</b>	<b>47</b>
<b>8 PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS</b>	<b>48</b>
 <b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	 <b>49</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>50</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Elevador de canecas (Fábrica de Projetos, 2012) .....	1
Figura 2 - Transportadora helicoidal (Sacramento, 2003) .....	2
Figura 3 - Esquema de uma fábrica de ração peletizada (Ferraz Máquinas, 2012) .....	2
Figura 4- Ração farelada (Anhambí Alimentos, 2012) .....	3
Figura 5 - Ração peletizada (Ferraz Máquinas, 2012) .....	3
Figura 6 - Ração extruzada - (Ferraz Máquinas, 2012).....	3
Figura 7 - Planta baixa da Agronorte Nutrição Animal LTDA.....	6
Figura 8 - Modelo de misturador utilizado pela Agronorte Nutrição Animal LTDA.....	8
Figura 9 - Fluxograma de produção da fábrica Agronorte Nutrição Animal LTDA. ....	11
Figura 10 - Milho normalmente utilizado como fonte de energia em rações .....	12
Figura 11 - Soja cereal com grande quantidade de proteína .....	12
Figura 12 - Gráfico mostrando a diferença na proporção entre macro e micronutrientes.....	15
Figura 13 – Distribuição dos componentes da fórmula da ração da Agronorte .....	16
Figura 14 - Desenho esquemático do módulo junto ao misturador.....	19
Figura 15 - Dimensões do helicóide transportado (CEMA, 2009) .....	22
Figura 16 - Transportador helicoidal com eixo.....	22
Figura 17 - Formato da calha do transportador helicoidal (CEMA, 2009).....	27
Figura 18 - Dimensões da calha do transportador helicoidal (CEMA, 2009).....	27
Figura 19 - Terminal da calha (CEMA, 2009) .....	28
Figura 20 - Terminal da calha prolongado .....	29
Figura 21 - Demonstração da melhor utilização da área utilizando uma secção quadrada no silo .....	29
Figura 22 - Silo de armazenagem.....	30
Figura 23 - Carregamento em um silo (EUROCODE 1, 1995) .....	31
Figura 24 - Caixa de pesagem .....	33
Figura 25 - Rolamento do eixo do transportador helicoidal.....	34
Figura 26 - Caixa do mancal suportada pela estrutura .....	34
Figura 27 - Caixa de mancal fixada ao terminal da calha .....	35
Figura 28 - Rolamento da tampa da caixa de pesagem .....	35
Figura 29 - Estrutura de sustentação .....	36
Figura 30 - Diagrama trajeto-passo do processo de dosagem.....	37
Figura 31 - Controlador universal de processos SX-UNI da fabricante Spirax Sarco (Regler) .....	38
Figura 32 – Exemplo da vista do painel traseiro do SX-UNI (Spirax Sarco) .....	38
Figura 33 - Célula de carga 1-PW6DC3/10KG-1 da fabricante HBM (HBM) .....	39
Figura 34 - Dimensões das células de carga .....	40
Figura 35- Atuador rotativo selecionado (Norgren, 2001-2012) .....	41
Figura 36 - instalação pneumática do atuador rotacional.....	41
Figura 37 - Válvula pneumática 5/2 normalmente aberta (Norgren, 2001-2012).....	41
Figura 38 - Motoredutor (SEW Eurodrives) .....	42
Figura 39 - Vista explodida do sistema de dosagem .....	44
Figura 40 - Desenho em CAD do protótipo .....	44
Figura 41 - Vista lateral e frontal do protótipo (cotas em milímetros) .....	45

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Fórmula sal mineral recria (EMBRAPA, 2011) .....	14
Tabela 2 – Fórmula da Ração Frango de Corte Final (Agronorte, 2012) .....	15
Tabela 3 - Propriedades dos materiais (KWS) .....	20
Tabela 4 - Dimensões do transportador helicoidal .....	22
Tabela 5 - Características do transportador helicoidal .....	23
Tabela 6 - Resultados e características do eixo do transportador helicoidal .....	26
Tabela 7 - Dimensões da calha do transportador helicoidal .....	28
Tabela 8 - Dimensões dos terminais da calha .....	28
Tabela 9 - Tabela de valores e pressões referentes ao ponto crítico do silo .....	32
Tabela 10 - Custo dos componentes da máquina .....	46



# LISTA DE SÍMBOLOS

## Símbolos Latinos

$A$	Área da secção transversal do silo	[m <sup>2</sup> ]
$c_0$	Coeficiente de resistência do material	
$D$	Diâmetro da hélice	[m]
$d_0$	Diâmetro interno do eixo	[m]
$d_1$	Diâmetro externo do eixo	[m]
$d_1$	Diâmetro externo do eixo	[m]
$T_{\min}$	Torque mínimo admitido para o atuador rotativo	[N.m]
$F_{\text{peso}}$	Máxima carga admitida pelas células de carga	[N]
$L_{\text{tampa}}$	Largura da tampa da caixa de pesagem	[m]
$H$	Altura de elevação do material	[m]
$L$	Comprimento da hélice	[m]
$J$	Momento polar de área do eixo	[m <sup>4</sup> ]
$K$	Taxa de pressão lateral	
$k$	Fator de correção do ângulo de inclinação do transportador	
$k_a$	Fator de modificação de condições de superfície	
$k_b$	Fator de modificação de tamanho	
$k_c$	Fator de modificação de carga	
$k_d$	Fator de modificação de temperatura	
$k_e$	Fator de confiabilidade	
$k_f$	Fator de modificação por efeitos variados	
$n$	Fator de segurança para cargas estáticas	
$n_f$	Fator de segurança para fadiga	
$P$	Potência mínima necessária	[W]
$P_n$	Potência para mover o transportados descarregado	[W]
$P_h$	Potência para deslocar o material	[W]
$p_{vf}$	Pressão vertical exercida pelo material armazenado	[MPa]
$p_{hf}$	Pressão horizontal exercida pelo material armazenado	[MPa]
$p_{wf}$	Pressão de fricção na parede do silo	[MPa]
$Q_{\min}$	Vazão massica minima	[g/s]
$Q$	Vazão massica	[g/s]
$r$	Raio do eixo	[m]
$s$	Área ocupada pelo material	[m <sup>2</sup> ]
$S_e$	Limite de resistência no ponto crítico	[MPa]
$S_e'$	Limite de resistência do espécime de teste do tipo viga rotativa	[MPa]
$S_{ut}$	Limite de resistência a tração	[MPa]
$S_y$	Limite de resistência ao escoamento	[MPa]
$t$	Passo da hélice	[m]
$T_{\max}$	Torque máximo do motor	[N.m]
$U$	Perímetro interno da secção transversal do silo	[m]
$V$	Velocidade do material	[m/s]
$z$	Profundidade abaixo da superfície equivalente do sólido	[m]

## Símbolos Gregos

$\gamma$	Fator de correção do volume ocupado pelo material	
$\lambda$	Densidade do material	[g/m <sup>3</sup> ]
$\sigma'$	Tensão equivalente	[MPa]
$\sigma_a$	Amplitude de tensão	[Mpa]
$\sigma_m$	Tensão média	[MPa]
$\sigma_x$	Tensão axial	[MPa]
$\sigma_y$	Tensão fletora	[MPa]
$\tau$	Tensão de cisalhamento	[MPa]

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 FABRICAÇÃO DE RAÇÕES ANIMAIS

Devido ao contínuo crescimento da população mundial, cada vez mais é necessário melhorar as técnicas e formas de obtenção de alimentos. Dentro deste panorama, o desafio de encontrar formas eficientes de produção de proteína, obtendo o melhor aproveitamento de cada animal mostra-se de importância considerável para conservação dos hábitos e da saúde de sociedade humana. Para o tal, o aperfeiçoamento genético das espécies e a nutrição eficiente revelam-se abordagens eficazes na obtenção de alimentos de origem animal.

A indústria de fabricação de ração animal vem crescendo e melhorando suas práticas. Somente no Brasil, segundo o Sindicato Nacional da Indústria de Alimentação Animal (Zani, 2011) o crescimento do setor foi de 5% em relação a 2010, sendo que no ano de 2010 foi fabricado 63,6 milhões de toneladas de ração, o que mostra a força e a significância do setor na economia nacional. Por esses e outros fatores destaca-se a importância do investimento em tecnologia para o desenvolvimento de novas técnicas visando o aumento da eficiência e a redução de custos dos processos de fabricação.

O processo de fabricação de ração animal pode ser realizado de diversas formas, como explicado por Marco Antônio Mayer Lara, (Lara, 2010) no que diz respeito à disposição do maquinário. Unidades fabris com disposição vertical aproveitam a energia potencial gravitacional para o deslocamento dos insumos, enquanto, disposições horizontalizadas tornam a estrutura da planta mais simples, facilitando procedimentos de manutenção ao permitir melhor acesso aos equipamentos que apresentam maior incidência de falhas. Em ambos os casos são utilizados elevadores de canecas (Figura 1) e transportadoras helicoidais (Figura 2) para o deslocamento dos insumos.



Figura 1 - Elevador de canecas (Fábrica de Projetos, 2012)

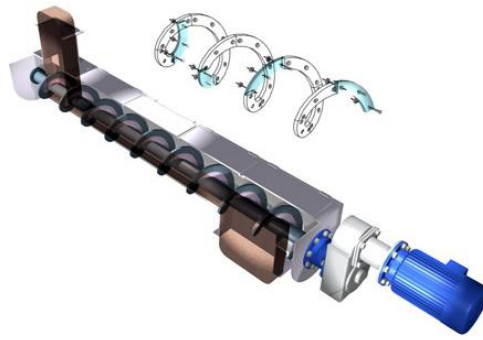


Figura 2 - Transportadora helicoidal (Sacramento, 2003)

As etapas específicas envolvidas na fabricação de ração são comumente: a armazenagem, o transporte dos insumos, a moagem, o preparo dos micronutrientes, a dosagem, a mistura e o ensaque como explicado por (Lara, 2010) e mostrado no esquema da Figura 3.

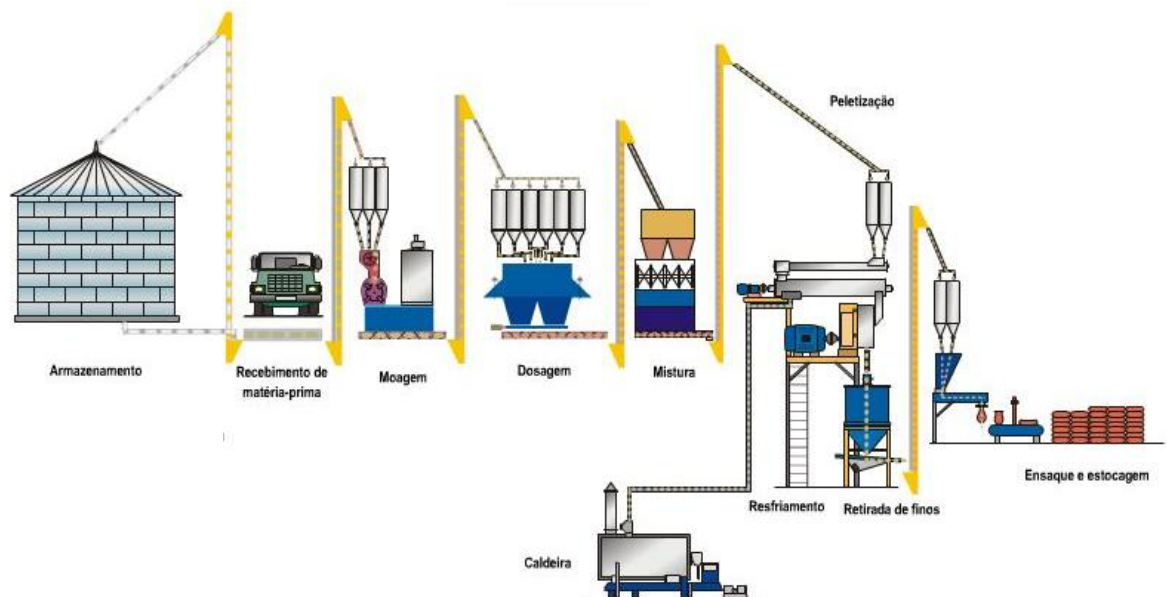


Figura 3 - Esquema de uma fábrica de ração peletizada (Ferraz Máquinas, 2012)

Os processos de fabricação sofrem variações de acordo com o tipo de ração a ser produzido. A seguir são apresentadas as variações mais comuns de rações animais considerando apenas o formato do grão obtido no fim do processo.

- Ração farelada (Figura 4): É a forma mais simples de ração onde após a moagem, as matérias-primas são misturadas aos demais nutrientes de acordo com a formulação.



Figura 4- Ração farelada (Anhambí Alimentos, 2012)

- Ração peletizada (Figura 5): Como explicado no relatório do Colégio Brasileiro de Nutrição Animal (CBNA), onde a aglutinação dos insumos é feita adicionando umidade durante a mistura, e depois submetendo a uma elevada temperatura, o que propicia uma pré-gelatinização dos ingredientes e após esse processo o material é pressionado chegando à forma de pelete.



Figura 5 - Ração peletizada (Ferraz Máquinas, 2012)

- Ração extruzada (Figura 6): A matéria-prima é submetida à pressão, temperatura e umidade elevadas, depois forçada sua passagem por um orifício onde depois será cortada chegando ao formato final desejado.



Figura 6 - Ração extruzada - (Ferraz Máquinas, 2012)

Para que as rações possuam os valores nutricionais suficientes para o bom desenvolvimento corporal do animal é necessário à adição de nutrientes, sais minerais, vitaminas e os mais variados tipos dos chamados micronutrientes ou núcleos, também chamados de *premix* quando esse material já é vendido misturado com formulações pré-definidas (Lara, 2010). Esses núcleos também possuem a função de melhor absorção dos outros nutrientes e torna o animal menos suscetível a doenças.

Este trabalho está focado justamente no manuseio destes núcleos, pois corresponde a uma parte significativa no valor final de cada ração. Além de ter valor significativo no custo final das rações, o

trabalho de manusear, dosar, e adicionar esses núcleos à mistura é feita manualmente, exigindo o uso de mão de obra, o que favorece a ocorrência do erro humano nesta parte do processo, que pode oferecer riscos tanto aos trabalhadores, que lidam com o produto, quanto aos animais, sabendo que ao ingerir dosagens erradas podem estar sujeitos a óbito.

## **1.2 JUSTIFICATIVA**

O desenvolvimento de um sistema de dosagem e mistura de micronutrientes para ração animal justifica-se, pelo aumento da segurança no processo de fabricação pela restrição do contato humano com os núcleos (o que deverá ocorrer apenas no momento de abastecer a máquina), diminuindo drasticamente o risco de intoxicação com esses materiais.

O segundo ponto forte de sistema dessa natureza é o maior controle da qualidade, pois com um sistema preciso e de qualidade, as dosagem se tornam mais confiáveis, diminuindo os desperdícios e os riscos de erros humanos, dando assim maior garantia de que o produto estará dentro das condições especificadas.

A nacionalização da tecnologia de preparo do *premix* configura-se num avanço do agronegócio brasileiro uma vez que permitem para além da melhoria das práticas de fabricação no setor, o aumento do valor agregado de nossos produtos, a redução de custos e a capacidade de inovar no desenvolvimento de novos produtos.

## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.3.1 Objetivos Gerais**

- Desenvolvimento de um sistema para dosagem e mistura de micronutrientes para a nutrição animal.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Realizar estudo sobre os tipos existentes de rações.
- Compreender detalhadamente o processo de fabricação de rações.
- Levantar as propriedades dos núcleos utilizados na alimentação animal.
- Levantar as dosagens e tolerâncias nas formulações de rações animais.
- Concepção da máquina.
- Projeto da Máquina.
- Definir circuito de automação.

## **1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO**

O trabalho será estruturado da seguinte forma, no capítulo 1, o trabalho é introduzido apresentando aos leitores o setor econômico da fabricação de ração, os tipos de rações e noções gerais sobre as fábricas e justificando a necessidade do projeto.

O capítulo 2 procura explicar mais detalhadamente os tipos de fábrica, o caso estudado e como funciona o processo de fabricação de ração passo a passo.

O capítulo 3 é dedicado ao estudo dos insumos utilizados na fabricação de rações, tanto os macronutrientes quanto dos micronutrientes. Este capítulo fornece um estudo mais aprofundado dos micronutrientes utilizados nas rações animais, visando principalmente às propriedades físicas de cada um deles. Também se dedica a analisar os riscos, dosagens e tolerâncias de cada um deles.

No capítulo 4, encontra-se a concepção da máquina, explicando o sistema, justificando todas as decisões tomadas e demonstrando a origem dos parâmetros definidos para o projeto.

O capítulo 5, é o projeto efetivo da máquina, mostrando os cálculos e dimensionamentos dos elementos, justificando todos os métodos e critérios utilizados de modo a garantir a confiabilidade do projeto.

O capítulo 6 mostra o resultado do projeto, apresentando as características principais da máquina concebida, ilustrando sua forma e seu futuro aspecto.

O capítulo 7 traz as considerações finais sobre o projeto, demonstrando possíveis problemas e alterações se necessário.

O capítulo 8 foi feito para fazer propostas para futuros trabalhos, caso alguém se interesse em aperfeiçoar o projeto ou aprofundar em estudos dos processos de fabricação de rações.

## 2 PROCESSO DE FABRICAÇÃO

### 2.1 FÁBRICA ESTUDADA

Para a boa execução do projeto, optou-se pela aplicação do protótipo a um processo de fabricação real. Assim, o protótipo de dosador de micronutrientes, projetado neste trabalho deverá ser aplicado à fábrica da Agronorte Nutrição Animal LTDA. em Tocantinópolis – TO que possui capacidade de produção de 6 toneladas por hora de ração, fazendo uso de um misturador de 500 kg de carga. A planta baixa da unidade fabril encontra-se ilustrada na Figura 7.

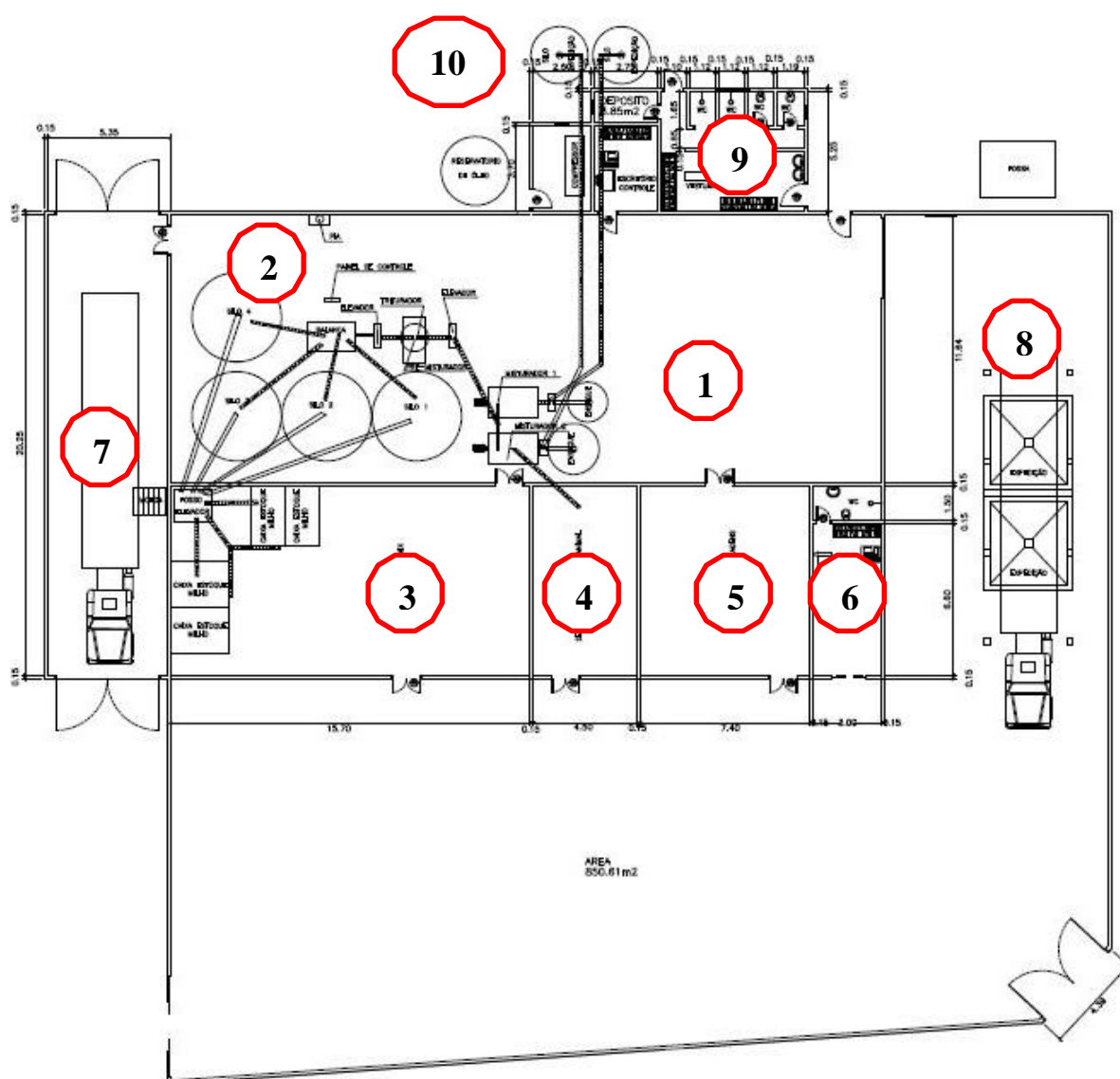


Figura 7 - Planta baixa da Agronorte Nutrição Animal LTDA.

1. Armazém de produto ensacado
2. Área de produção



3. Depósito de insumos ensacados
4. Depósito de proteína animal
5. Depósito de *premix*
6. Escritório administrativo
7. Recepção de matéria-prima
8. Expedição de produto acabado
9. Banheiro/vestiários
10. Expedição de produto a granel

A fábrica da Agronorte representa o público alvo a que esse trabalho se dedica, que são empresas de pequeno porte com um baixo volume de produção, as quais para garantir uma boa margem de lucro precisam reduzir ao máximo seus custos, principalmente no que diz respeito à mão de obra e aproveitamento de seus insumos.

Esta fábrica é capaz de produzir, simultaneamente, rações para animais ruminantes (bovinos, equinos, coelhos) e para animais monogástricos (frango, suínos e etc.), devido à presença de duas linhas de produção. A produção diferenciada deve-se ao fato de que animais ruminantes não podem ter contato com proteína animal, enquanto que, animais monogástricos podem. Deste modo a planta da unidade é dividida após o processo de moagem. Esta é a única especificidade com relação ao produto produzido (ruminantes/monogástricos).

O equipamento utilizado que mais impacta nos fatores decisivos desse projeto é o misturador, que impõe condições ao formato, capacidade e margem de erro admissível na dosagem dos micronutrientes. No caso estudado são utilizados dois misturadores idênticos, um para animais ruminantes e um para animais monogástricos. Os misturadores possuem uma capacidade de 500 kg de ração, informação que será utilizada como base para a determinação dos volumes mínimos da caixa de pesagem e do silo de armazenagem. O misturador é ilustrado na Figura 8.

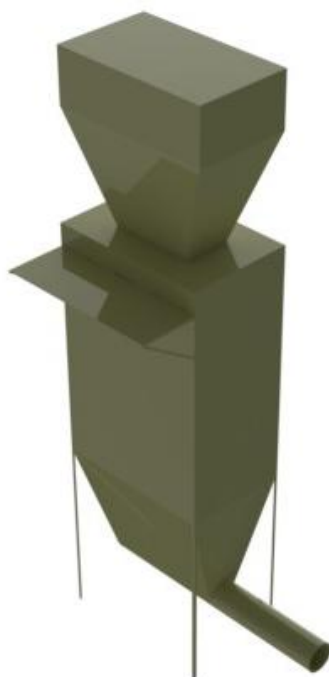


Figura 8 - Modelo de misturador utilizado pela Agronorte Nutrição Animal LTDA.

A forma com que os misturadores são abastecidos é de suma importância. Para os macronutrientes, são utilizados transportadores helicoidais e elevadores de canecas. Para os micronutrientes o abastecimento é feito por dois operários, um que dosa e entrega o material e o outro que se encontra em uma passarela anexa ao misturador, responsável por adicionar os micronutrientes no momento adequado no misturador. Este trabalho propõe a substituição do trabalho destes dois operários por o uso de um sistema que automatize este processo.

## 2.2 DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO

Na composição das rações animais, a maior parte da mistura são ingredientes como milho, farelo de soja, farelo de trigo, sorgo, entre outros. Logo o maquinário utilizado para fabricação se dedica predominantemente ao transporte, armazenagem, moagem e mistura desses ingredientes.

O processo é iniciado pela recepção da matéria-prima, para que a mesma seja feita, antes é necessário fazer análises laboratoriais do grão recebido, as amostras são tiradas no próprio veículo onde a matéria-prima é transportada, de forma a perceber algum problema em sua constituição, determina se o grão está dentro dos padrões aceitáveis e se existe alguma possível deficiência nutricional que ele possa vir a trazer ao produto acabado. No caso da matéria-prima está fora dos padrões previamente determinados, ela é devolvida ao remetente antes mesmo de sair do caminhão.

O processo de fabricação de ração animal se inicia efetivamente com a descarga da matéria-prima, este processo pode ser feito manualmente com a descarga de material embalado feito por estivadores ou mecanicamente, despejando o material a granel em dispositivo chamado de moega, responsável por levar a matéria-prima até os primeiros elevadores.

Elevadores de matéria-prima são equipamentos muito comuns aos vários processos principalmente se a fábrica for disposta de forma vertical. Os elevadores que retiram a matéria-prima da moega geralmente funcionam com o uso de canecas, para evitar a quebra prematura dos grãos no processo de armazenagem, mas na fábrica pode haver também elevadores helicoidais.

Na fábrica estudada, a dosagem dos macronutrientes é feita antes do processo de moagem, levando a matéria-prima para uma balança de fluxo através de transportadores helicoidais até que cada um dos insumos esteja na quantidade correta, só depois de pesados esse insumos são conduzidos a um pré-misturador onde eles são misturados ainda inteiros. Em algumas fábricas esse processo de dosagem dos macronutrientes é feito após a moagem.

Após os insumos serem dosados e pré-misturados eles são conduzidos até a máquina onde eles serão moídos até serem transformados em farelo com a granulometria adequada a ração especificada.

Paralelamente ao processo de moagem, é feito por outra equipe o preparo dos núcleos de acordo com tipo de ração a ser produzida. O preparo dos núcleos inclui a dosagem de cada micronutriente, após isso eles são separados em sacos, correspondente a cada processo de mistura, chamado de batida, esse volume é definido de acordo com o tamanho do misturador. Nesse ponto da produção que esse trabalho se dedica a aperfeiçoar, automatizando com a garantia da qualidade deste processo, que é crucial para bom aproveitamento nutricional no campo.

Depois dos componentes devidamente moídos e o núcleos dosados, eles são colocados nas proporções determinadas pela fórmula, previamente definida pelo zootécnico responsável, no misturador, onde a matéria-prima fica o tempo suficiente para garantir sua homogeneização.

Quando a mistura é concluída a ração farelada está pronta, no caso da produção de ração peletizada ou extruzada esses processos ainda serão executados para que dessa forma a ração esteja pronta.

Com a ração acabada, deve ser feita a armazenagem adequada para que ela não perca suas propriedades. Para a comercialização a granel deste material, ele pode ser armazenado devidamente em silos, observando sempre que ração para animais monogástricos não deve entrar em contato com rações para animais ruminantes. Caso a ração seja embalada em sacos esse problemas são amenizados.

Todas as outras regras para fabricação de rações, concentrados, *premix*, suplementos e afins para consumo animal, estão indicadas na normativa 15/2009 (MAPA, 2009). A fábrica também deve estar de acordo com o manual de boas práticas de fabricação, regulamentadas na normativa 04/2007 (MAPA, 2007).

Todo o processo de fabricação de rações é descrito de forma mais simples no fluxograma de produção ilustrado na Figura 9.

## 2.3 FLUXOGRAMA DE PRODUÇÃO

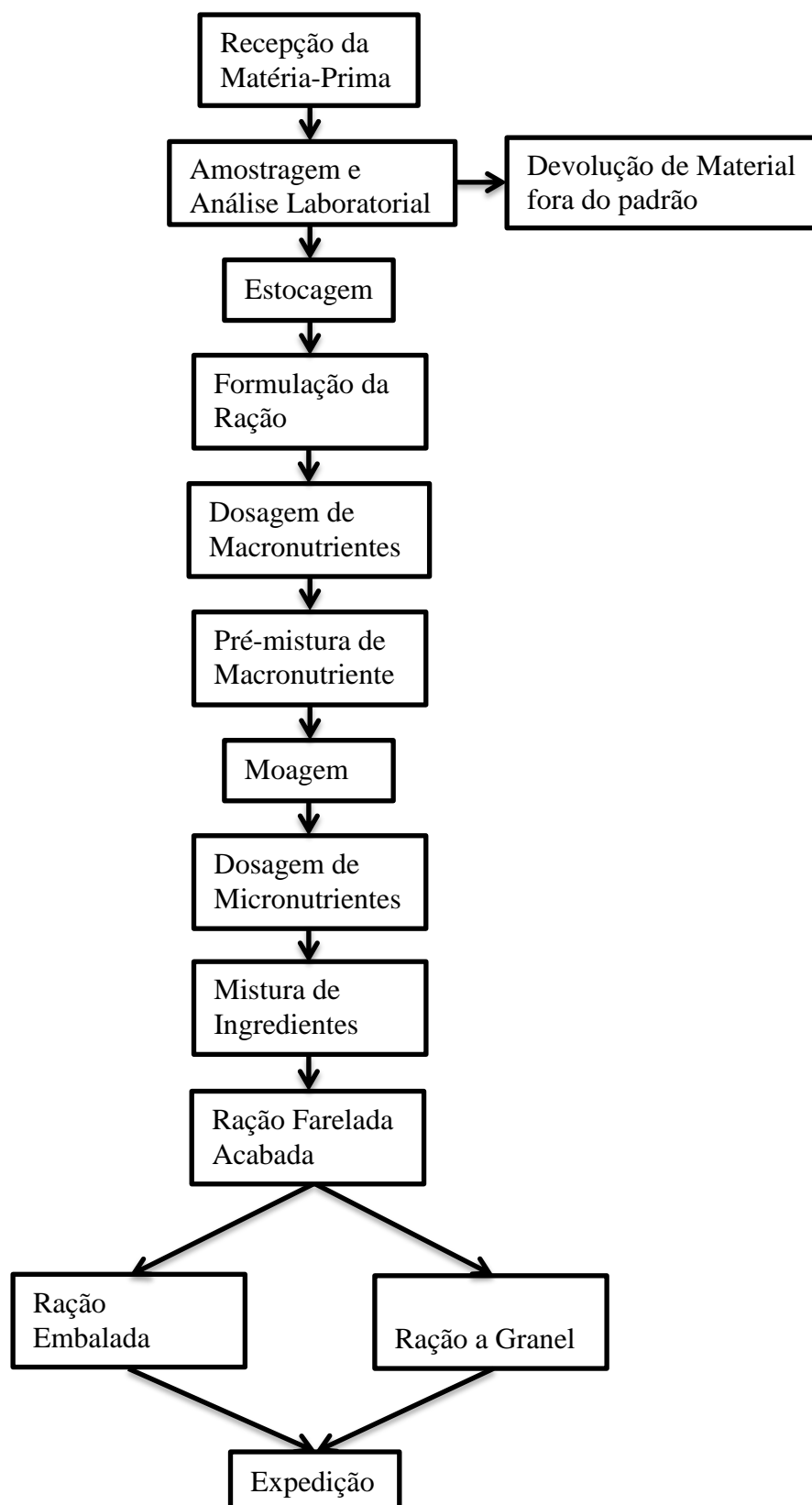


Figura 9 - Fluxograma de produção da fábrica Agronorte Nutrição Animal LTDA.

## 3 INSUMOS

### 3.1 MACRONUTRIENTES

A parte volumosa da formulação das rações é comumente chamada de macronutrientes. Os macronutrientes compreendem no mínimo dois terços da composição das rações, são eles carboidratos, proteínas, lipídeos e fibra. São normalmente encontrados nos cereais como farelo de soja, milho, sorgo, farelo de trigo, farelo de algodão, sal mineral e farinha de carne.

Os cereais que contém os macronutrientes são os ingredientes colocados em grandes quantidades na formulação, por causa disso, eles não estão no foco deste trabalho, tendo que este dedica-se ao desenvolvimento de um sistema de dosagem para elementos de pequenas quantidades na formulação.

A armazenagem dos cereais deve ser criteriosa de modo a garantir a integridade do grão até o processo de moagem, protegendo assim a constituição do grão e mantendo sua composição nutricional. A dosagem desses elementos é feita utilizando transportadores helicoidais e balanças de fluxos, este processo é de baixa precisão, estes componentes são determinados na formulação em limites de máximos e mínimos, o que dá uma vasta margem de erro para sua manipulação.



Figura 10 - Milho normalmente utilizado como fonte de energia em rações



Figura 11 - Soja cereal com grande quantidade de proteína

## 3.2 MICRONUTRIENTES

O estudo dos micronutrientes, sais minerais e vitaminas, mais comumente utilizados se fazem necessário, pois permite uma avaliação dos riscos que esse material pode inferir aos seus manuseadores, um dos motivos que justificam o projeto do sistema. Também permite uma avaliação das suas características físicas, de quão reativo ele é e com quais materiais ele reage, dados imprescindíveis para o desenvolvimento do projeto.

O levantamento das tolerâncias admitidas por cada micronutriente é crucial no projeto, pois neste aspecto é que se deposita a confiabilidade da máquina, sabendo que alguns micronutrientes em excesso pode levar a morte dos animais devido a sua ingestão, deve-se também levar em consideração o alto custo dos micronutrientes tornando importante a menor margem de erro possível para evitar desperdícios.

Os micronutrientes aqui detalhados foram escolhidos de modo a garantir uma vasta variedade de dosagens, precisões e tipos de compostos, fazendo um estudo vasto, para que a máquina concebida tenha a sua aplicabilidade mais ampla possível. Os detalhes sobre os micronutrientes foram disponibilizados pelos fabricantes MC Group (MC Group) e Indukern (Indukern).

### 3.2.1 Micronutrientes Estudados

Os micronutrientes estudados foram os citados nas fórmulas disponibilizadas pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2011) dos mais diversos tipos de aplicação, os mesmos são utilizados em rações para bovinos, aves, caprinos e em composição de sais minerais.

Os micronutrientes avaliados foram:

- Iodato de cálcio
- Monensina
- Óxido de magnésio
- Selenito de sódio
- Sulfato de cobalto
- Sulfato de cobre
- Sulfato de ferro monohidratado
- Carbonato de cálcio
- Enxofre
- Óxido de zinco
- Caulim

Também foi considerado o uso dos chamados *premix*, que nada mais é que uma mistura de micronutrientes com concentrações determinadas pela fórmula dos fabricantes dos mesmos. Seu uso é

mais comum pelas facilidades propostas por ele, por já vir na dosagem necessária e diminuir os riscos de intoxicação dos funcionários envolvidos no processo. Tem como problema o custo mais elevado devido ao valor agregado na sua fabricação, embalagem e também não permite total liberdade na formulação. O *premix* é habitualmente utilizado em processos de fabricação simplificados e de menor escala de produção.

### 3.2.2 Dosagem

O micronutriente com as menores dosagens expressas nas fórmulas foi o selenito de sódio que em algumas fórmulas, como divulgado na Tabela 1 (EMBRAPA, 2011) chega a ser adicionado como 0,005% da mistura. Por exemplo, para um saco de 25 kg (embalagem padrão) de sal mineral é adicionada uma porção de 125 g de selenito de sódio.

Tabela 1 - Fórmula sal mineral recria (EMBRAPA, 2011)

Fonte	Quantidade (%)	Batida de 500 kg (kg)
Fosfato Bicálcico	62,535	312,675
Sulfato de Zinco	2,047	10,235
Sulfato de Cobre	0,450	2,25
Sulfato de Cobalto	0,014	0,07
Iodato de Potássio	0,010	0,05
Selenito de Sódio	0,005	0,025
Cloreto de Sódio	30,422	152,11
Enxofre Elementar	3,518	17,59
Melaço em Pó	1,000	5

A fórmula ilustrada na Tabela 1 é o caso extremo, no qual o dosador de micronutrientes será utilizado, por tratar-se de um sal mineral, que pela definição nutricional é totalmente composto de micronutrientes, mas pela definição do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2009), os micronutrientes são considerados os ingredientes adicionados à fórmula que compreendem menos de 30 % da massa total descrita na formulação.

A partir destes princípios o componente da fórmula que é definido como micronutriente, para a EMBRAPA, que adicionado em maior quantidade é o enxofre elementar, o que torna suas propriedades cruciais para a determinação das dimensões do equipamento projetado.

Para demonstrar a diferença na proporção entre os componentes da formulação que serão dosados pelo equipamento, a Figura 12 traz o gráfico realçando em tons de vermelho os micronutrientes que serão dosados pelo equipamento e em tons de azul os componentes tratados como macronutrientes, demonstrando visualmente a diferença nas quantidades utilizadas na formulação.



## Distribuição dos Componentes

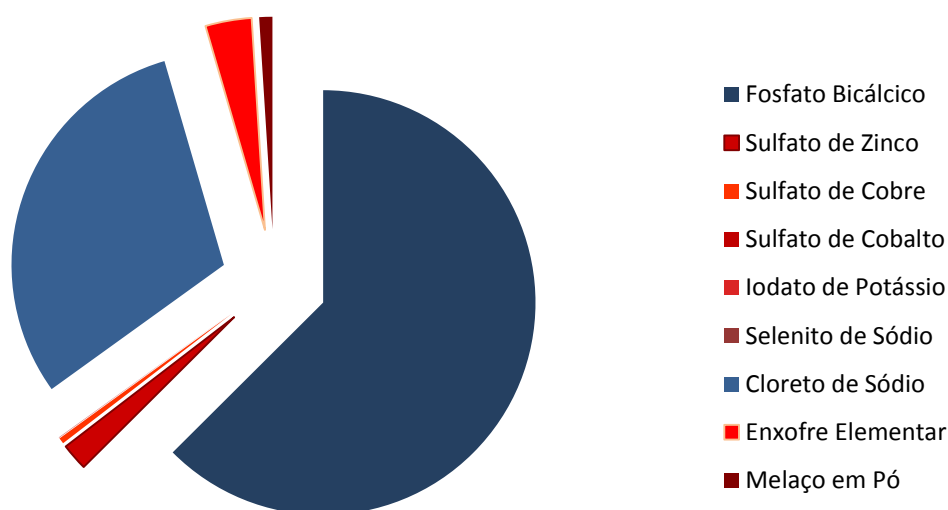


Figura 12 - Gráfico mostrando a diferença na proporção entre macro e micronutrientes

O caso mais comum e mais ameno, nos que diz respeito aos critérios determinantes para a concepção do projeto de alimento fabricado para animais é a ração. Rações possuem níveis mais elevados de proteínas, fibras e carboidratos, que correspondem aos macronutrientes, tornando as quantidades de micronutrientes utilizadas menores, o que demanda um projeto de silos menores e exige uma menor margem de erro para as células de carga.

A ração mais produzida pela fábrica da Agronorte Nutrição Animal LTDA. é a Ração de Frango de Corte Final, esta ração faz uso de *premix* na sua fabricação, um concentrado que já traz os micronutrientes adicionados em menor quantidade já misturados. Na fórmula, Tabela 2, também está descrito os macronutrientes e micronutrientes ausentes no *premix* utilizado.

Tabela 2 – Fórmula da Ração Frango de Corte Final (Agronorte, 2012)

Fonte	Quantidade (%)	Batida de 500 kg (kg)
Milho Moído	68,86	344,34
Farelo de Soja	23,20	116,00
Farinha de Carne	6,04	30,20
Óleo de Soja	1	5,00
Sal Moído	0,348	1,74
Calcário Calcítico	0,144	0,72
Premix FC Engorda Vit/Mix	0,4	2,00

Se comparada à composição da fórmula da ração exemplificada com o sal mineral mostrado na Tabela 1, é clara a diferença de necessidades que a máquina deve atender. Na Figura 13 esta reforçada

a diferença na quantidade de micronutrientes e macronutrientes, os micronutrientes em tons alaranjados e os macronutrientes em tons de verde.

### Distribuição dos Componentes

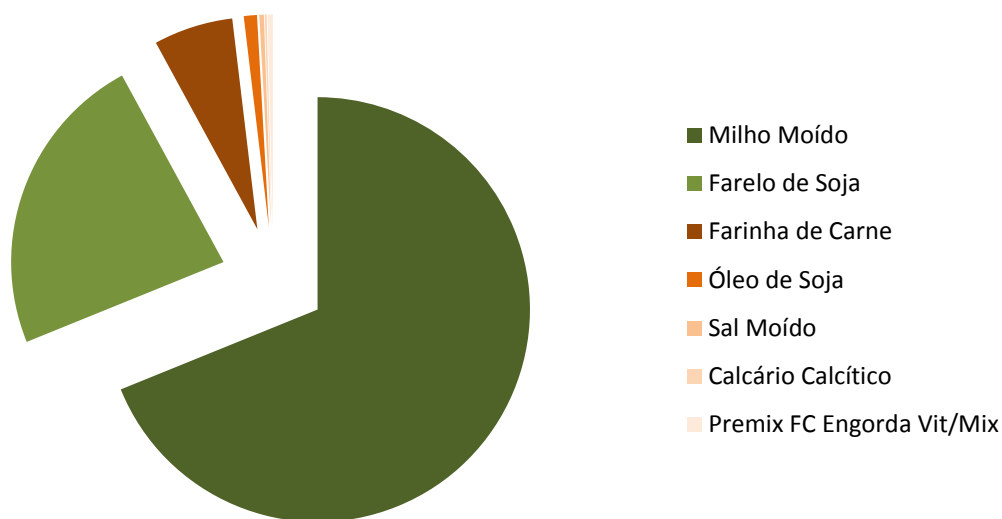


Figura 13 – Distribuição dos componentes da fórmula da ração da Agronorte

#### 3.2.3 Riscos

A partir das fichas de informações sobre produtos químicos, disponibilizadas pelos fabricantes (Indukern), (MC Group) foi possível obter dados sobre os mais diversos riscos que decorrem da armazenagem e manuseio dos micronutrientes utilizados.

Nessa parte do texto serão explicitadas apenas as informações mais relevantes, no que diz respeito, a riscos considerando os elementos que apresentam seu maior grau.

Os riscos envolvidos com o uso dos micronutrientes são muito variados e limitados por parâmetros como:

- Concentrações de partículas no ar. No caso do sulfato de cobalto, por exemplo, apenas 0,1 mg/m<sup>3</sup> de ar são tolerados.

- Grau de inflamabilidade. O índice mais severo é o do enxofre.

- Risco de reação química violenta na presença de outros produtos. Caso do óxido de zinco, que reage violentamente com magnésio.

- Grau de letalidade da substância, o que influirá diretamente na tolerância de erros admitidos pela máquina. O caso mais crítico é o do selenito de sódio, no qual apenas 7 mg/kg podem matar um rato no caso de ingestão oral.

### **3.2.4 Cuidados**

Seguindo as recomendações dos fabricantes (Indukern), (MC Group) o ambiente de armazenagem e onde esse material será manuseado deve ser arejado e livre de umidade.

O fabricante recomenda, para todos os operários durante o manuseio com micronutrientes, uso de máscara, óculos protetores, roupas adequadas, evitar ingestão de alimentos durante o manuseio e nos locais onde esses materiais estão armazenados, pois praticamente todos os micronutrientes podem causar irritação na pele, nos olhos, cavidade nasal, além de problemas variados no caso de ingestão.

Os cuidados demandados para o manuseio desses produtos são uma das motivações deste projeto, pois a automação resultará não apenas na garantia das dosagens prescritas na formulação, mas ainda minimizando o contato da mão de obra com as substâncias, reduzindo riscos de danos à saúde dos trabalhadores.

## 4 CONCEPÇÃO DO SISTEMA

Para a concepção do sistema foram considerados: *i)* as características do material a ser dosado, *ii)* o tempo em que essa dosagem deve ser feita, *iii)* a precisão necessária para garantir a qualidade, segurança e confiabilidade do produto gerado e *iv)* as características dos equipamentos e do processo de fabricação do público alvo desejado.

A princípio considerou-se a utilização de sistemas que funcionassem de forma compressiva. Onde um êmbolo seria empregado para empurrar o material contra uma comporta, cuja função seria o controle da saída do micronutriente. A dosagem, neste caso, far-se-ia por controle do volume. A utilização desse tipo de sistema foi descartada considerando que, alguns fatores importantes como o coeficiente de aglutinação são de difícil obtenção e variam muito de um micronutriente para o outro, gerando altos níveis de erro no processo de medição.

Também foram considerados sistemas utilizando o fluxo do material induzido pela gravidade, nos quais a dosagem pode ser obtida a partir do tempo de queda desses produtos. Esse tipo de sistema foi também desconsiderado, pois fatores como aglutinação e presença de obstrução no silo poderiam acarretar erros maiores que os admitidos na medida.

Optou-se então por um sistema cujo princípio de funcionamento utiliza um transportador helicoidal posicionado na base do depósito de matéria-prima. O qual, ao ser acionado por um motor elétrico, desloca a matéria-prima para um segundo depósito, onde ela é pesada por meio de células de carga. Um sistema de controle, acionado pelo sinal da célula de carga, uma vez atingido o peso determinado, interrompe o funcionamento do helicóide e aciona a abertura do segundo compartimento, despejando o material no misturador.

Neste ponto, cabe observar que o dimensionamento do misturador não é necessário no presente trabalho, uma vez que os misturadores disponíveis no mercado cumprem a contento a função de homogeneizar a mistura. Deste modo, ressalta-se que, o objetivo deste projeto tornou-se a concepção do mecanismo de automação da alimentação dos micronutrientes, prescritos para cada formulação, garantindo a precisão da dosagem.

Sumarizando, os componentes a serem dimensionados neste projeto são:

- O transportador helicoidal bem como seu eixo e respectivos mancais;
- Os silos de micronutrientes (incluindo as vedações);
- A estrutura de sustentação do sistema;
- O motor elétrico para acionamento da hélice;
- O sistema de fechamento e abertura do silo de pesagem;
- A seleção das células de carga;
- Seleção do sistema de automação do processo.

Estes elementos devem ser dimensionados ou selecionados levando sempre em consideração que este trabalho propõe desenvolver um equipamento para ser utilizados em fábricas de rações,

proteinados e sais minerais tanto para animais ruminantes (gado, cavalos, coelhos e etc.) quanto para animais monogástricos (aves, suínos entre outros). Este produto deve atender principalmente as fábricas de pequeno porte, com capacidade de produção de até seis toneladas por hora trabalhada.

A quantidade de silos dosadores utilizadas pelos fabricantes de rações é muito variável, por isso o projeto trabalha os módulos isoladamente, deixando a critério do cliente interessado a escolha de quantos módulos ele utilizará, dependendo de quão complexas são suas formulações.

O equipamento deve trabalhar juntamente ao misturador, logo a sua estrutura e a disposição dos componentes devem se adequar da melhor forma possível ao corpo do misturador e sua estrutura de sustentação. Para o projeto foi utilizado como referência o misturador utilizado na fábrica estudada. Um desenho esquemático de um módulo junto a um misturador é ilustrado na Figura 14.

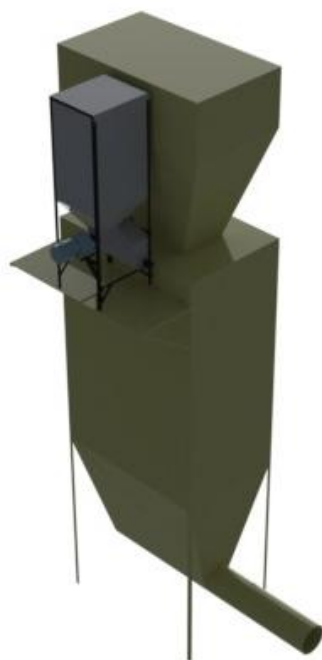


Figura 14 - Desenho esquemático do módulo junto ao misturador

# 5 DIMENSIONAMENTO DA MÁQUINA

## 5.1 DIMENSIONAMENTO DO TRANSPORTADOR HELICOIDAL

Para o dimensionamento do transportador helicoidal foram utilizadas informações encontradas no trabalho do Sacramento (2003) sobre transportadores helicoidais e do guia de dimensionamento do fabricante (KWS). O detalhamento das dimensões de todas as partes que compõem o transportador helicoidal foi feito com o auxílio da norma (CEMA, 2009).

O processo de fabricação de ração completo, desde o momento que os grãos deixam o silo até a ração acabada possui um tempo médio de 8 minutos, dados obtidos a partir de informações cedidas pelas fábricas da Agronorte Nutrição LTDA. e da fábrica da Santa Isabel Alimento LTDA. Sabendo que o tempo de mistura máximo é de 4 minutos e que os núcleos devem ser misturados antes de ser colocados juntos aos grãos moídos. Os micronutrientes devem entrar no misturador em no máximo um minuto a partir do início do processo de mistura dos macronutrientes. A partir dessas informações estimou-se que os micronutrientes devem ser dosados em no máximo 1 minuto.

Com o tempo máximo para a dosagem determinado, tomando como padrão um misturador de 500 kg e baseando-se nas fórmulas concedidas pela EMBRAPA (2011) tem-se que o micronutriente utilizado em maior quantidade é o enxofre que é colocado 17,59 kg por batida. A partir destes dados determinou-se que quantidade máxima de micronutriente dosada na caixa de pesagem será de 20 kg, sabendo que a dosagem deve ser feita em 1 minuto, determinou-se que a vazão mínima, em gramas por segundo, necessária para garantir um funcionamento adequado dentro dos prazos estimados é de:

$$Q_{\min} = 333,34 \text{ g/s}$$

Para que sejam realizados os cálculos de dimensionamento é de suma importância conhecer as propriedades dos elementos que serão transportados e o processo de fabricação. A partir dos micronutrientes citados no Capítulo 3 foram levantados os dados necessários, a partir do catálogo do fabricante (KWS), listados na Tabela 3.

Tabela 3 - Propriedades dos materiais (KWS)

Material	Peso específico (g/cm³)	Carregamento (% da área)	Abrasividade (de I a III)	Corrosividade (de I a III)
Oxido de Magnésio	1,92	30%	II	I
Sulfato de Ferro	0,80 – 1,20	30%	II	I
Sulfato de Cobre	0,96 – 1,12	30%	I	I
Enxofre	0,80 – 0,96	30%	I	I
Oxido de Zinco	0,16 – 0,24	30%	I	I
Kaolin	0,67 – 0,90	30%	II	I

As características críticas dos micronutrientes para o projeto são a densidade e quão abrasivo o material a ser transportado é. Com informações obtidas no guia (KWS) sobre os micronutrientes foram levantadas as características de maior importância para o projeto, de forma que ele fosse o mais

abrangente possível. A partir dessas análises foi adotado o critério que o material transportado, atende a categoria de pouco abrasivo e observando os seu pesos específicos conclui-se também que trata-se de materiais leves, tendo em vista que este tipo de transportador pode ser usado pra transportar matérias de alta densidade como minério.

Logo, o fator de correção para o volume ocupado pelo material na hélice (Sacramento, 2003),  $\gamma$ , sabendo que praticamente todo o helicóide encontra-se emerso no material a ser transportado é de:

$$\gamma = 0,95$$

O passo da hélice é em função do seu diâmetro, de acordo com a condição de abrasividade do material a ser transportado, informação obtida a partir da norma (CEMA, 2009) explicitado na Equação 1, dado que o material considerado é de pouca ou de média abrasividade, como ilustrado na Tabela 3.

$$t = D \quad (1)$$

A velocidade com que matéria-prima se deslocará no transportador é determinada pela Equação 2:

$$V = (t * n)/60 \quad (2)$$

Onde:

- $t$  é o passo da hélice em mm.
- $n$  é velocidade angular em rpm.

A área ocupada pelo material no transportado é dada pela Equação 3.

$$s = \gamma \pi \frac{D^2}{4} \quad (3)$$

Sabendo que para o projeto em questão, o transportador se encontra na horizontal sem nenhum grau de inclinação, o fator de correção do ângulo de inclinação do transportador,  $k$ , é 1. A partir das equações previamente descritas chega-se à Equação 4, a qual determina a vazão de matéria-prima fornecida pelo transportador.

$$Q = s.V.\lambda.k \quad (4)$$

Onde  $\lambda$  é a densidade do material em questão.

Segundo o trabalho descrito por Sacramento (2003), a potência requerida por um transportador helicoidal qualquer é obtido pela Equação (5).

$$P(kW) = \frac{Q.H}{367} + c_0 \cdot \frac{Q.L}{367} \quad (5)$$

No qual,

- $c_0$  é o coeficiente de resistência do material, nesse caso:  $c_0 = 1,2$ .
- $L$  é o comprimento do helicóide.
- $H$  é a altura que o material será elevado, que para este caso:  $H=0$ .

Sabendo que o diâmetro  $D$  do eixo do helicóide é suficiente para atender as condições iniciais de projeto, essa condição é utilizada para obter as demais informações dimensionais do transportador, utilizando a norma (CEMA, 2009) como mostrado na Figura 15.

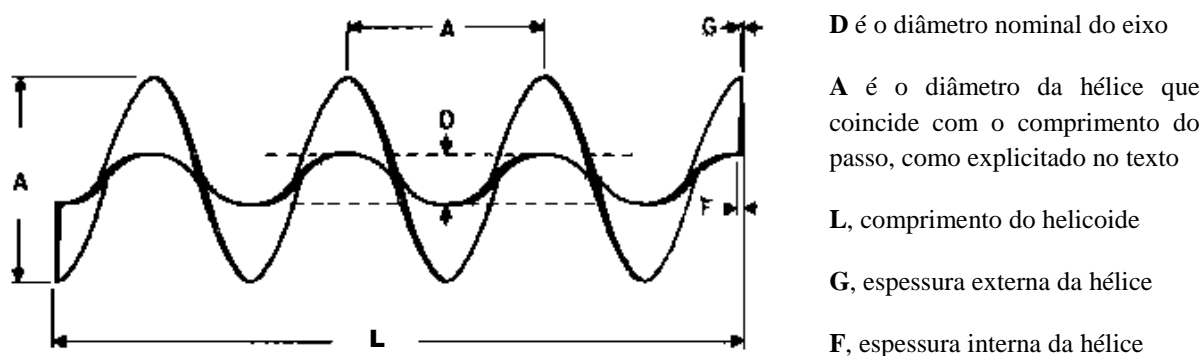


Figura 15 - Dimensões do helicóide transportado (CEMA, 2009)

A partir das equações descritas foi obtido o diâmetro para que o transportador satisfaça as condições do projeto e a partir dele foram obtidas as demais dimensões do helicóide seguindo proporcionalmente a especificações da norma CEMA (2009). As dimensões obtidas estão na Tabela 4, que devem ser associadas às cotas mostradas na Figura 15 - Dimensões do helicóide transportado. O helicóide dimensionado é mostrado na Figura 16.

Tabela 4 - Dimensões do transportador helicoidal

Cota	A	D	L	G	F
Dimensão (mm)	50	15,8	250	0,125	0,25



Figura 16 - Transportador helicoidal com eixo.



Todos os resultados encontrados utilizando da Equação (1) a Equação (5), bem como o coeficientes e valores definidos estão explicitados na Tabela 5, para o cálculo foi utilizado uma rotina simples, feita usando o software MatLab R2009a, esta rotina encontra-se no anexo deste trabalho.

Tabela 5 - Características do transportador helicoidal

Definição	Símbolo	Unidade	Valor Utilizado
Vazão mássica do helicóide	$Q$	g/s	820,72
Passo da hélice	$t$	mm	50
Diâmetro da hélice	$D$	mm	50
Fator de correção volumétrico	$\gamma$	_____	0,95
Velocidade do material	$V$	m/s	0,229
Velocidade angular do helicóide	$n$	RPM	275
Densidade do material crítico (óxido de magnésio)	$\lambda$	g/cm <sup>3</sup>	1,92
Área ocupada pelo material	$s$	mm <sup>2</sup>	1856
Fator de inclinação	$k$	_____	1
Potência necessária	$P$	kW	0,18
Coefficiente de resistência do material	$c_0$	_____	1,2
Altura de elevação do material	$H$	m	0
Comprimento do helicóide	$L$	mm	250

Como observado, a vazão obtida por um transportador helicoidal com essas características,  $Q$ , é superior a vazão mínima determinada pelos fatores de projeto,  $Q_{min}$ , obtidos observando o tipo de fábrica abordada neste projeto, o que determina que este transportador atende as necessidades do projeto.

### 5.1.1 Dimensionamento do Eixo do Helicoide

O eixo no qual o helicoide é fixado possui seu diâmetro externo previamente determinado na norma. O esforço relevante para o dimensionamento do eixo é principalmente de natureza torcional, tendo também o esforço axial devido à resistência exercida pelo material ao ser transportado, onde o torque máximo é determinado pelo torque máximo que o motor pode fornecer. Situação onde o motor está à plena carga e o eixo é parado.

$$\tau = \frac{T_{m\acute{a}x} r}{J} \quad (6)$$

- $\tau$  é a tensão cisalhante exercida no eixo.
- $T_{m\acute{a}x}$  é o torque máximo fornecido pelo motor.
- $r$  é raio do eixo.
- $J$  é o momento polar de área do eixo.

Segundo os cálculos feitos para determinar a potência máxima, concluiu-se que a potência necessária para o funcionamento adequado da máquina é baixa, sabendo também que o eixo determinado pela norma possui diâmetros consideráveis, 15,8 mm, foi determinado que o eixo terá a forma tubular, de modo a diminuir os custos de produção, sua massa e consequentemente diminuir a inercia das partes girantes. O cálculo do momento polar de área para eixo tubulares é feito da seguinte forma, (Joseph E. Shigley, 2005):

$$J = \frac{\pi}{32} (d_0^4 - d_i^4) \quad (7)$$

Onde:

- $d_0$  é o diâmetro externo do eixo.
- $d_i$  é o diâmetro interno do eixo.

Para o projeto será necessário um motor elétrico de potência nominal de pelo menos duas vezes o valor da potência máxima necessária estipulada no projeto, de modo a garantir o funcionamento da máquina em situações adversas às consideradas no projeto.

Para o cálculo de resistência ao esforço estático foi utilizado o critério de Von Mises, (Joseph E. Shigley, 2005), que para a máquina em questão está ilustrado pela Equação 7.

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_x^2 - \sigma_x \sigma_y + \sigma_y^2 + 3\tau_{m\acute{a}x}^2} \quad (8)$$

Onde:

- $\sigma'$  é a tensão equivalente no eixo.
- $\sigma_x$  é a tensão axial ao eixo.
- $\sigma_y$  é tensão fletora do eixo, que para este projeto é desconsiderada.

Para garantir que o eixo do helicoide resistirá aos esforços estáticos, à tensão equivalente,  $\sigma'$ , tem que obedecer a seguinte função (Joseph E. Shigley, 2005):

$$\sigma' \leq \frac{S_y}{n} \quad (9)$$

Na qual:

- $S_y$  é a resistência ao escoamento do material do qual o eixo é fabricado.
- $n$  é o fator de segurança do eixo, para carga estática.

De modo a garantir a segurança, confiabilidade e durabilidade do helicóide, também se faz necessária a verificação da possibilidade de falha por fadiga, resultante de carregamento variável do eixo, sabendo que a máquina será projetada para infinitos ciclos. Para tal, foi utilizado o critério de Goodman modificado, (Joseph E. Shigley, 2005), por ser conservador e bastante usual. O fator de segurança para fadiga é calculado de acordo com a Equação 9.

$$n_f = \frac{1}{\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}}} \quad (10)$$

Onde:

- $n_f$  é o fator de segurança para fadiga.
- $S_{ut}$  é a resistência a tração do material do qual o eixo é fabricado.
- $\sigma_a$  é a componente de amplitude da tensão.
- $\sigma_m$  é a componente média da tensão.
- $S_e$  é o limite de resistência no local crítico da peça.

Como o helicóide operará girando em um único sentido, sempre, e considerando a situação crítica para o cálculo dos fatores de segurança. Partindo destes critérios para a máquina em questão os valores das componentes de amplitude e média são iguais.

$$\sigma_a = \sigma_m \quad (11)$$

O limite de resistência no local crítico da peça é corrigido segundo a Equação 11:

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_e \quad (12)$$

- $k_a$  é o fator de modificação de condições de superfície.
- $k_b$  é o fator de modificação de tamanho.
- $k_c$  é o fator de modificação de carga.
- $k_d$  é o fator de modificação de temperatura.
- $k_e$  é o fator de confiabilidade.
- $k_f$  é o fator de modificação por efeitos variados.
- $S'_e$  é o limite de resistência do espécime de teste do tipo viga rotativa.

Foi desenvolvido uma rotina simples, utilizando o software MatLab R2009a, para efetuar os cálculos usando da Equação 5 a Equação 11. Foi definido que o material do eixo será aço norma AISI

1020, suas propriedades foram obtidas no site Matweb (Matweb, 1996-2013). Os resultados obtidos e características do eixo do transportador helicoidal encontram-se explicitado na Tabela 6.

Tabela 6 - Resultados e características do eixo do transportador helicoidal

Definição	Símbolo	Unidade	Valor Utilizado
Tensão cisalhante exercida no eixo	$\tau$	MPa	8,588
Torque máximo fornecido pelo motor	$T_{m\acute{a}x}$	N.m	2,55
Raio do eixo	$r$	mm	7,9
Momento polar de área do eixo	$J$	mm <sup>4</sup>	2,346.10 <sup>-9</sup>
Diâmetro externo do eixo	$d_0$	mm	15,8
Diâmetro interno do eixo	$d_i$	mm	14,3
Tensão equivalente no eixo	$\sigma'$	MPa	14,876
Tensão axial ao eixo	$\sigma_x$	kPa	
Tensão fletora do eixo	$\sigma_y$	kPa	0
Resistência ao escoamento do material	$S_y$	MPa	350
Resistência à tração do material	$S_{ut}$	MPa	420
Limite de resistência no local crítico da peça	$S_e$	MPa	15,57
Limite de resistência do espécime tipo viga rotativa	$S'_e$	MPa	211,68
Fator de segurança do eixo para cargas estáticas	$n$	_____	23,53
Fator de segurança para fadiga	$n_f$	_____	15,27
Componente de amplitude da tensão	$\sigma_a$	kPa	7,44
Componente média da tensão	$\sigma_m$	kPa	7,44
Fator de modificação de condições de superfície	$k_a$	_____	0,9099
Fator de modificação de tamanho	$k_b$	_____	1,37
Fator de modificação de carga	$k_c$	_____	0,59
Fator de modificação de temperatura	$k_d$	_____	1
Fator de confiabilidade	$k_e$	_____	1
Fator de modificação por efeitos variados	$k_f$	_____	1

A partir destes cálculos foi selecionado um tubo comercial feito de aço SAE 1020 galvanizado, com 15,8 mm de diâmetro e uma parede de 0,9 mm de espessura, mostradas na Tabela 6. A decisão de optar por algo comercial deu-se devido à dificuldade e o alto custo de se produzir o eixo na forma tubular, sendo mais simples e barato selecionar um tubo comumente encontrado no mercado que atenda as especificações do projeto. Os fatores de segurança para o tubo selecionado mostraram-se bastante elevados, mostrando que o tubo selecionado atende com folga as exigências de projeto.

### 5.1.2 Calha do Transportador Helicoidal

O formato para a calha onde o helicóide é alojado foi determinado com auxílio da norma (CEMA, 2009).

Para obter uma calha que se adeque bem as características do projeto, é necessário observar as condições de escoamento do material a ser transportado e também levar em consideração a boa adequação do formato da calha ao desenho do silo de armazenagem dos micronutrientes.

As piores condições de escoamento dos micronutrientes foram consideradas, na quais os micronutrientes aderem às paredes, impedindo o livre fluxo do material. Para evitar esse tipo de situação a calha indicada na norma é a calha com a entrada alargada, como mostrado na Figura 17.

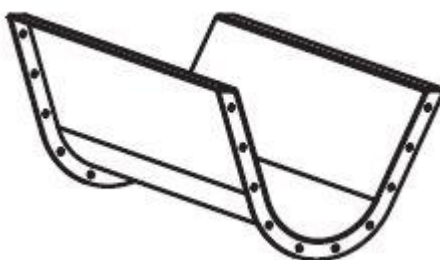


Figura 17 - Formato da calha do transportador helicoidal (CEMA, 2009)

Foi definido que a calha será fabricada com chapa da mesma espessura do depósito, o que integrará a calha ao projeto do mesmo, por questões de homogeneização dos materiais utilizados, diminuindo assim custos e facilitando a fabricação.

As dimensões da calha foram obtidas baseadas nos dados e exemplos encontrados na norma (CEMA, 2009), a mesma explicita todas as cotas necessárias para a construção da calha como mostrado na Figura 18.



Figura 18 - Dimensões da calha do transportador helicoidal (CEMA, 2009)

As dimensões da calha estão especificadas na Tabela 7, as dimensões foram obtidas baseando-se na norma CEMA (2009).

Tabela 7 - Dimensões da calha do transportador helicoidal

Cota	A	B	C	D	L
Dimensão (mm)	116,7	136,5	58,3	29,16	204

A calha será fabricada em aço SAE 1020 galvanizado, por ser um material de custo relativamente baixo e que não impõe muitas dificuldades no processo de fabricação do projeto, ajudando assim reduzir os custos totais do projeto.

### 5.1.3 Terminais da Calha

A norma (CEMA, 2009) também estabelece a forma como os terminais da calha devem ser construídos, para a calha com entrada larga são dadas todas as dimensões principais como ilustrado na Figura 19.

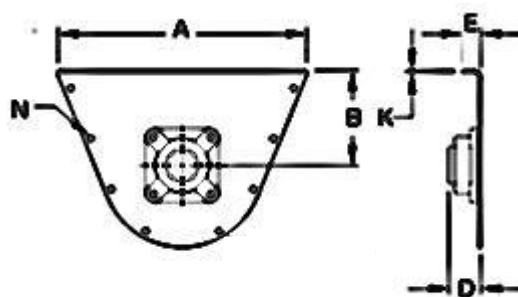


Figura 19 - Terminal da calha (CEMA, 2009)

Algumas informações importantes como o espaçamento entre os parafusos de fixação tanto nos terminais como na calha não são informadas, esses detalhes serão definidos para ambos os elementos no desenho técnico para fabricação, seguindo espaçamentos regulares e obedecendo a quantidade de furos especificados pela norma.

As dimensões forma obtidas obedecendo à norma (CEMA, 2009) e estão especificadas no desenho na Tabela 8. A espessura da chapa usada para fabricar os terminais e o seu material serão os mesmos usados na construção do silo.

Tabela 8 - Dimensões dos terminais da calha

Cota	A	B	C	N	K	E	D
Dimensão (mm)	138,5	58,3	46,9	3/8"	2	12,7	55,6

Seguindo o mesmo padrão da norma, um dos terminais terá um prolongamento, pois a caixa de pesagem ficará apoiada sobre as células de carga, por este motivo ela não deve ser fixada a nenhum outro ponto da estrutura. Para isto, um dos terminais foi projetado com um prolongamento tubular, que além de permitir que a caixa de pesagem seja independente da estrutura, ainda ajuda evitar o desperdício de material, pois faz com que o material seja despejado com uma distância da abertura de entrada. A forma deste terminal encontra-se mostrada na Figura 20.



Figura 20 - Terminal da calha prolongado

## 5.2 DIMENSIONAMENTO DO SILO DE MICRONUTRIENTE

A parte da máquina com a função de armazenar os micronutrientes é tratada neste trabalho como um silo, pois trata-se do armazenamento de componentes sólidos a granel, farinhas e pó. O cálculo para silos é bem diferente do cálculo de reservatórios, utilizado para o armazenamento de fluidos, que levam em consideração pressões hidrostáticas.

O módulo de dosagem ficará suspenso sobre a passarela, onde anteriormente era passagem do trabalhador responsável por adicionar o núcleo no misturador, é de suma importância à economia de espaço sobre esta passarela, para que sobre ela possa caber o maior número possível de módulos e ainda manter reduzida a altura do módulo, para que a sua recarga seja feita do mesmo nível do módulo, não demande um esforço que cause risco à saúde dos operadores.

Devido a esses fatores e ao caráter modular do sistema, a construção de silo de formato retangular mostrou-se uma solução mais adequada do que o uso de silos cilíndricos, demonstrado na Figura 21, pois além de fazer melhor uso da área, onde estão postos os módulos, torna mais simples a integração estrutural sobre a base de sustentação.

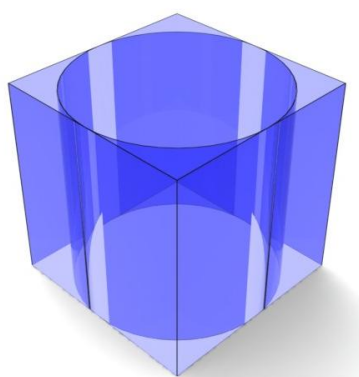


Figura 21 - Demonstração da melhor utilização da área utilizando uma seção quadrada no silo

O próximo passo para o projeto do silo é determinar um volume mínimo, de modo a evitar ao máximo o reabastecimento durante um turno, a partir deste volume são dadas as dimensões do silo. Tomando como base uma fábrica de ração com misturadores de 500 kg com capacidade de produção de 6 toneladas por hora de ração, dados oferecidos pela Agronorte Nutrição Animal Ltda. com sede em Tocantinópolis - TO.

A partir destes dados tem-se que a fábrica é capaz de realizar 12 batidas em uma hora, sabendo que a capacidade máxima de pesagem é de 20 kg, um módulo pode vir a dosar 240 kg/h. tomando como base o elemento dosado em maiores quantidades, enxofre de densidade 0,96 g/cm<sup>3</sup>, obteve-se que o reservatório deve ter 0,25 m<sup>3</sup>, para que possa operar uma hora com dosagens máximas sem que seja necessário reabastecer o módulo.

Para possíveis problemas de escoamento, foi selecionado um formato de calha segundo a norma (CEMA, 2009) que evita a aderência do material armazenado as paredes do silo, o formato final do silo é explicitado na Figura 22.

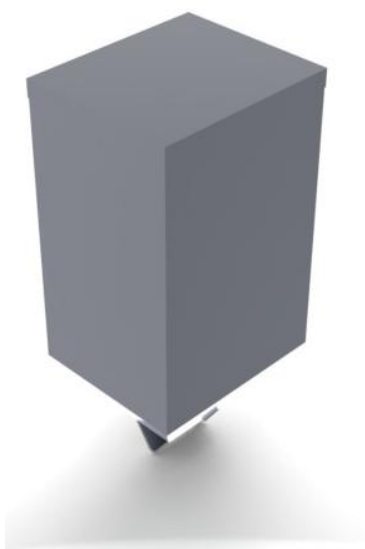


Figura 22 - Silo de armazenagem

O silo de armazenagem terá uma tampa responsável por isolar os micronutrientes do ambiente de fabricação, de modo a evitar a contaminação e a perda das propriedades dos mesmos. A tampa deve oferecer segurança e possui uma abertura que não necessite de ferramentas especiais, para facilitar seu manuseio.

Detalhes sobre o formato e as dimensões do silo serão devidamente ilustrados no desenho técnico de fabricação posto em anexo neste trabalho.

Todos os cálculos utilizados para a obtenção das pressões no silo foram baseados nas normas do EUROCODE 1 (1995) e no trabalho de Fank (2010). Segundos estas normas, as cargas que as paredes dos silos estão sujeitas, são basicamente as ilustradas na Figura 23.



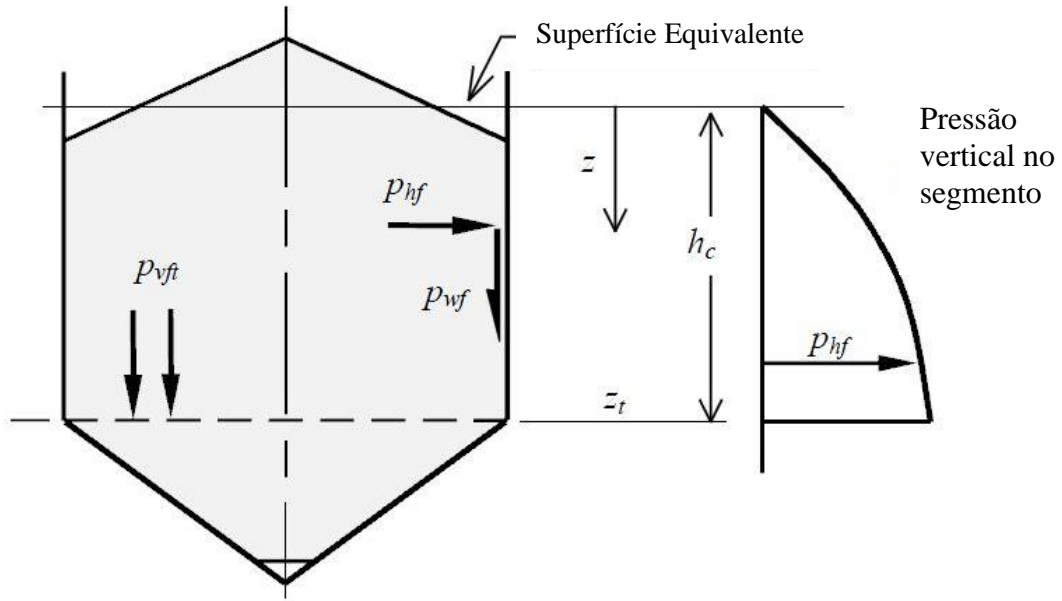


Figura 23 - Carregamento em um silo (EUROCODE 1, 1995)

Onde os esforços apresentados são:

- $p_{hf}$  é a pressão horizontal exercida pelo material armazenado.

$$p_{hf}(z) = p_{ho} Y_J(z) \quad (13)$$

- $p_{wf}$  é a pressão de fricção na parede do silo.

$$p_{wf}(z) = \mu p_{ho} Y_J(z) \quad (14)$$

- $p_{vf}$  é a pressão vertical exercida pelo material armazenado.

$$p_{vf}(z) = \frac{p_{ho}}{K} Y_J(z) \quad (15)$$

Sabendo que:

$$p_{ho} = \gamma K z_0 \quad (16)$$

$$z_0 = \frac{1}{K\mu} \frac{A}{U} \quad (17)$$

$$Y_J(z) = 1 - e^{-z/z_0} \quad (18)$$

Onde:

- $\gamma$  é o valor da massa específica do material armazenado.
- $p_{ho}$  é a pressão horizontal assintótica.
- $z_0$  é a profundidade característica.

- $\mu$  é o coeficiente de atrito entre o material e a parede do silo.
- $K$  é a taxa de pressão lateral.
- $z$  é a profundidade abaixo da superfície equivalente do sólido (representada na Figura 23).
- $A$  é a área da secção transversal do silo.
- $U$  é o perímetro interno da secção transversal do silo.

Todos os cálculos foram efetuados usando dados correspondentes ao material armazenado crítico citado nas fórmulas, o óxido de magnésio, no ponto onde o carregamento é máximo, que é a parte mais baixa da secção retangular do silo, onde as pressões se mostraram mais acentuada como ilustrado na Figura 23. A partir de uma rotina de cálculo feita usando o software MatLab R2009a, que encontra-se no anexo deste trabalho, todos os valores utilizados foram obtidos a partir do desenho do silo idealizado e da norma utilizada, os resultados estão ilustrados na Tabela 9.

O silo será totalmente construindo utilizando chapas de aço SAE 1020 galvanizada, de 2 mm de espessura, o fechamento do silo será feito pelo processo de soldagem.

Tabela 9 - Tabela de valores e pressões referentes ao ponto crítico do silo

Definição	Símbolo	Unidade	Valor
Massa específica do material	$\gamma$	g/cm <sup>3</sup>	1,92
Coeficiente de atrito do material	$\mu$	_____	1,2
Taxa de pressão lateral (EUROCODE 1, 1995)	$K$	_____	1,1
Profundidade abaixo da superfície equivalente	$z$	mm	850
Área da secção transversal	$A$	mm <sup>2</sup>	258.500
Perímetro interno da secção transversal	$U$	mm	2.2024
Pressão horizontal assintótica	$p_{ho}$	kPa	0,2043
Profundidade característica	$z_0$	mm	96,75
Pressão horizontal	$p_{hf}$	kPa	0,204
Pressão de fricção na parede	$p_{wf}$	kPa	0,245
Pressão vertical	$p_{vf}$	kPa	0,186

### 5.3 CAIXA DE PESAGEM

A caixa de pesagem é o elemento da máquina que tem como função reter o material despejado pelo helicóide, armazenando-o por um breve período de tempo no qual sucessivas pesagens são feitas até que atinja a quantidade devida do material para que seja adicionado a mistura.

Este componente não possui nenhuma função estrutural, pois as cargas as quais ele é solicitado são muito inferiores as do silo de armazenagem. Este, porém, será projetado seguindo os mesmos padrões do silo de armazenagem, evitando assim estoque de diferentes materiais e uma diferenciação significativa no maquinário usado na linha de produção, reduzindo assim os custos e facilitando a manutenção.

Baseando-se na capacidade máxima de carga das células, na densidade do elemento utilizado em maior quantidade na fórmula cedida pela EMBRAPA (2011) e utilizando como misturador padrão um misturador de 500 kg por ciclo, concluiu-se que um volume de 20 litros para a caixa de pesagem é suficiente para efetuar as dosagens com uma única carga na caixa, com folga, pois foi observado que as formulações podem variar bastante, o formato final da caixa de pesagem é apresentado na Figura 24.

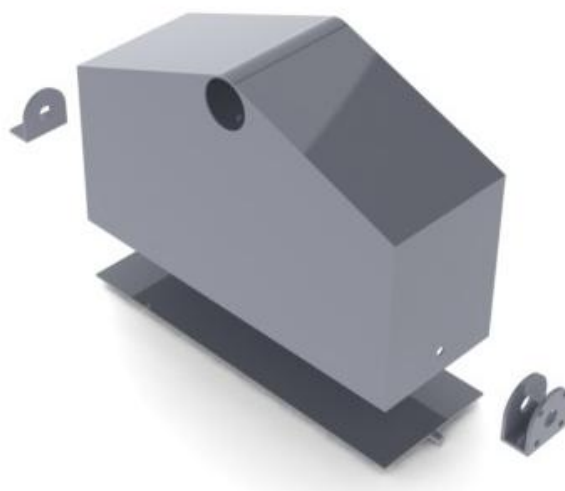


Figura 24 - Caixa de pesagem

Como ilustrado acima, a caixa de pesagem é composta da tampa rotativa, com um eixo de 10 mm na sua parte inferior e de dois suportes que são fixados ao corpo da caixa com uso de solda. Os apoios suportes apoiam a caixa sobre as células de carga, tendo que este é o modo mais simples de obter as pesagens sem interferência de fixações. Os suportes também têm a função de alojar os rolamentos do eixo da tampa e um deles fixa o atuador rotativo selecionado.

Os detalhes e dimensões da caixa de pesagem estão descritos detalhadamente nos desenhos técnicos de fabricação que estão anexados a este trabalho.

## 5.4 SELEÇÃO DE ROLAMENTOS

A seleção de rolamentos para este projeto torna-se bem simples, pois as cargas mostradas para os eixos em questão são bem reduzidas. As velocidades angulares dos eixos são baixas também tornando a vida por ciclos do rolamento bem longa.

No caso do eixo do transportado helicoidal, existem poucos tipos de rolamentos para este diâmetro de eixo, logo a escolha do rolamento dar-se pelas dimensões do eixo, já que o rolamento encontrado resiste com folga às cargas as quais ele será solicitado. O rolamento devera ser blindado devido ao excesso de pó encontrado no ambiente em que a máquina irá operar. O modelo selecionado, YAT 203-010, encontra-se descrito na Figura 25.

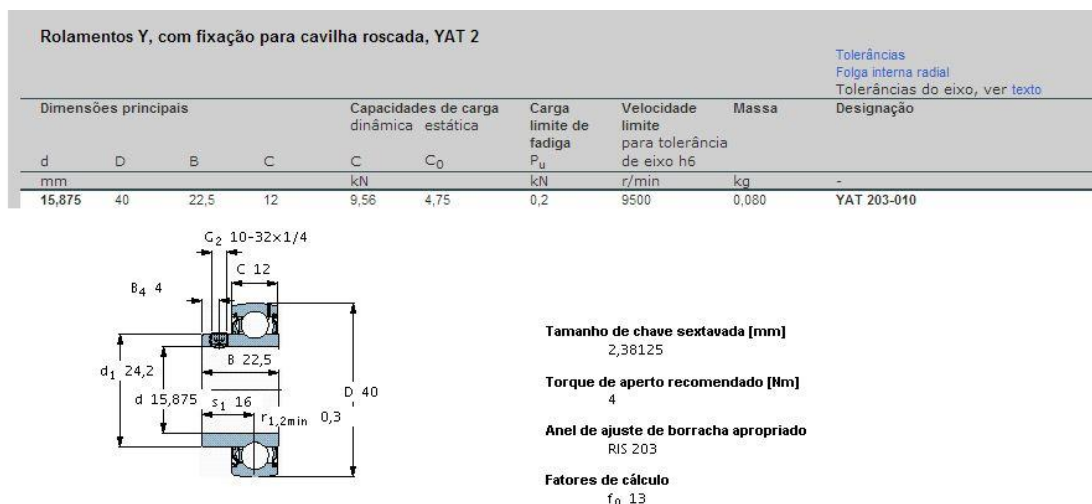


Figura 25 - Rolamento do eixo do transportador helicoidal

As caixas dos mancais do eixo do transportador helicoidal serão diferentes em cada extremidade, pois em uma extremidade o eixo será suportado pela estrutura, na outra o mancal de rolamento será fixado no terminal da calha, o que já é previsto pela própria norma na qual os terminais são descritos. As caixas selecionadas para estas aplicações, modelos SY 503 U e FYT 503 U respectivamente, estão ilustradas nas Figura 26 e Figura 27

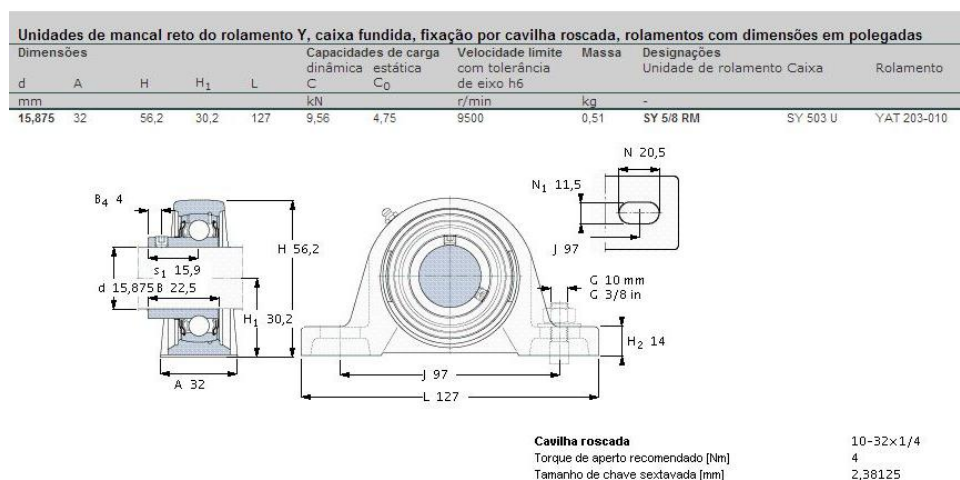


Figura 26 - Caixa do mancal suportada pela estrutura

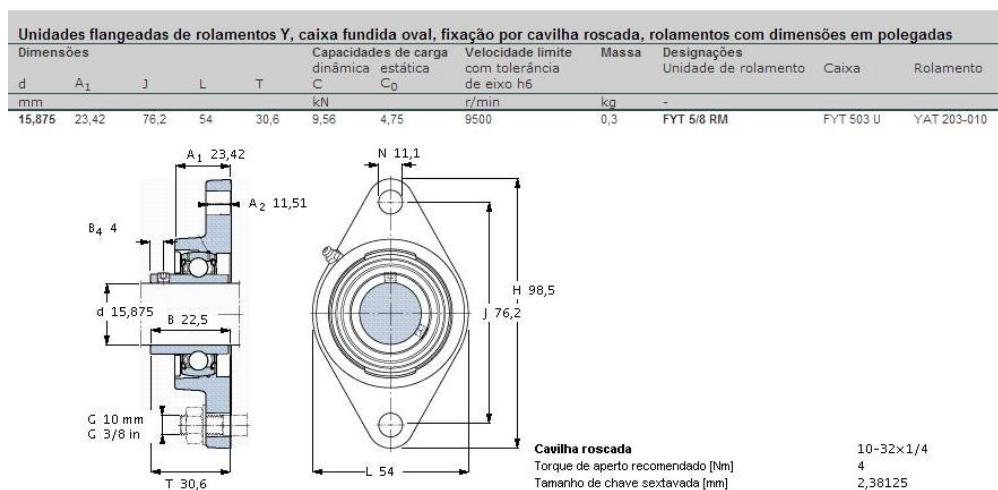


Figura 27 - Caixa de mancal fixada ao terminal da calha

Os rolamentos utilizados no eixo da tampa da caixa de dosagem atuarão girando apenas um quarto de volta e retornando, sempre. A carga máxima sobre o eixo da caixa de pesagem será de 20 kg, o que implica que as cargas sobre este eixo são muito baixas, tornando a seleção dos seus rolamentos muito simples, tendo em vista que os critérios para seleção tornam-se assim apenas o custo e as dimensões desejadas. Para esta utilização foi escolhido o modelo 61800 da fabricante SKF (SKF, 2013), ilustrado detalhadamente na Figura 28.

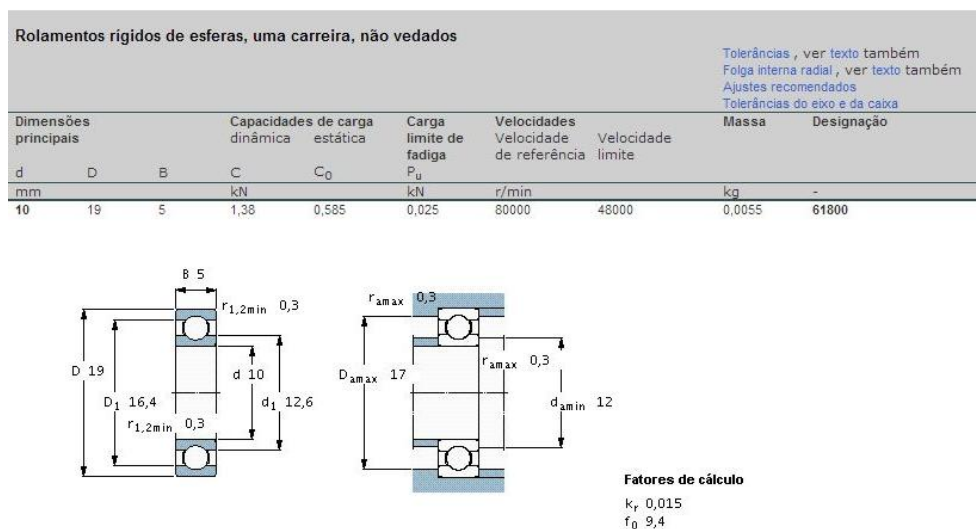


Figura 28 - Rolamento da tampa da caixa de pesagem

Para sua fixação na estrutura, será usinada sua sede no próprio flange que apoia a caixa de pesagem sobre as células de carga. Estes detalhes estão devidamente ilustrados nos desenhos técnicos de fabricação anexados a este trabalho.

## 5.5 ESTRUTURA DE SUSTENTAÇÃO

A estrutura de sustentação do sistema de dosagem é responsável pelo posicionamento e fixação dos componentes, essa estrutura deve ser simplificada e garantir a característica modular do equipamento. Ela deve ser facilmente adaptável, pois as fábricas de ração não possuem um layout padrão, o que torna complexa a definição de um modelo ideal, o que faz com que seja de suma importância à versatilidade desta estrutura.

O seu projeto será feito utilizando como elemento estrutural cantoneiras comerciais, feitas em aço SAE 1010 galvanizado MSG 14, com 2 mm de espessura, para que o custo de fabricação desta seja reduzido, com manutenção simplificada e facilitando possíveis adaptações necessárias à estrutura da fábrica na qual o módulo será utilizado. A estrutura de sustentação concebida encontra-se ilustra na Figura 29.



Figura 29 - Estrutura de sustentação

As características mais relevantes para o desenvolvimento e dimensionamento da estrutura são definições dos pontos de cada componente que serão fixados a estrutura. Também é de suma importância que a estrutura garanta a estabilidade e o posicionamento dos componentes de forma a permitir um bom funcionamento do conjunto.

Os componentes fixados diretamente a estrutura são:

- Silo de armazenagem, soldado a estrutura.
- Células de carga, parafusadas sobre a superfície de apoio.
- Motor elétrico, parafusado sobre a base especificamente desenhada.
- Tampa do silo, dobradiças e travas.

Todos os detalhes sobre as dimensões da estrutura projetada encontram-se nos desenhos técnicos de fabricação anexados a este trabalho.

## 5.6 SISTEMA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

O sistema responsável pelo controle e automação do sistema é um ponto de extrema importância no projeto, pois é neste ponto do projeto que se encontra os dispositivos que darão a máquina funcionalidade e precisão. Sem um controle e automação adequados a máquina torna-se desnecessária ou até prejudicial à produção, pois dosagens errôneas causam a perda da qualidade da ração produzida e podem causar a morte dos animais com ela alimentados.

Para este sistema será usado um motor elétrico, para acionar o helicóide transportador, também um atuador para efetuar a abertura da tampa da caixa de pesagem, despejando assim o material dosado. Para o controle será utilizado um sistema com processamento simples e que admita diferentes programações, essas programações não devem impor ao operador dificuldades e muito tempo para ser feita, pois o módulo poderá ser usado para diferentes fórmulas e elas podem ser mudadas várias vezes ao dia.

O primeiro passo da operação de dosagem é o acionamento do helicóide, considerando que a dispensa esteja abastecida, com o helicóide acionado o material começa a ser despejado na caixa de pesagem. O material é despejado até que as células de carga façam a leitura do peso pré-determinado na fórmula, no instante em que o peso é atingido o motor elétrico que move o helicóide é desligado e após a pesagem e o helicóide ter sido parado, o atuador ligado ao eixo da tampa da caixa de pesagem é acionado, girando-a 90°, despejando o material no misturador de micronutrientes, ou despejando o *premix* diretamente na mistura dos macronutrientes, conforme for o procedimento de cada indústria nas quais o módulo for utilizado.

O processo é mostrado de forma mais simples no diagrama trajeto-passo ilustrado na Figura 30.

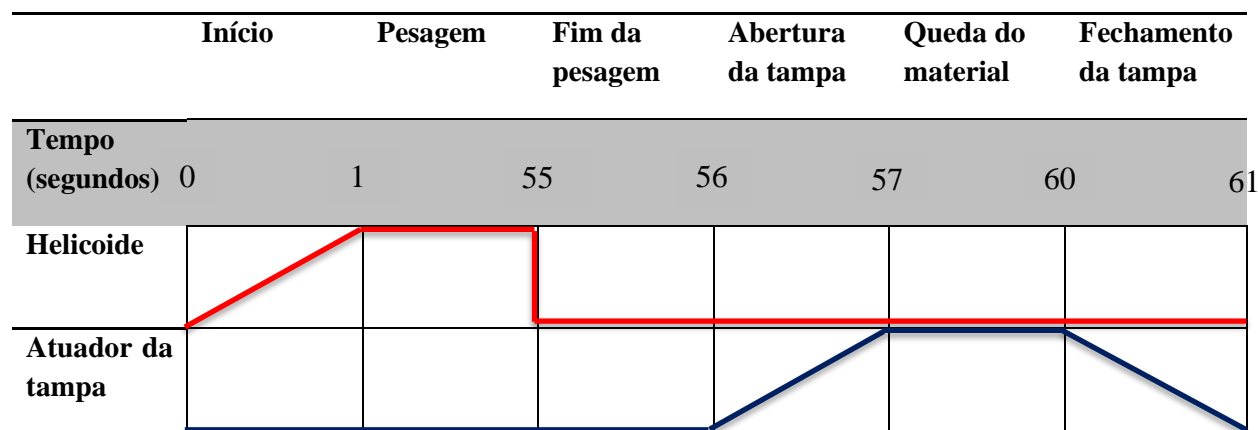


Figura 30 - Diagrama trajeto-passo do processo de dosagem

## 5.7 SELEÇÃO DE COMPONENTES DE AUTOMAÇÃO

### 5.7.1 Sistema de Controle

O sistema de controle será feito basicamente por um controle integral derivativo, controle PID, é uma técnica de controle de processos que une as ações derivativa, integral e proporcional, fazendo assim com que o sinal de erro seja minimizado pela ação proporcional, zerado pela ação integral e obtido com uma velocidade antecipada pela ação derivativa.

Para o controle do sistema proposto foi selecionado o controlador universal de processos SX-UNI da fabricante Spirax Sarco, Figura 31, que admite sinais analógicos, que será o tipo de sinal enviado pela célula de carga. O SX-UNI trabalha de forma proporcional, programando no seu sistema os limites de pesagens que serão associados a seus limites de alimentação, que é de 4 a 10 mV (milivolts), ajustando essa faixa de operação a faixa de peso determinada.



Figura 31 - Controlador universal de processos SX-UNI da fabricante Spirax Sarco (Regler)

Na parte traseira do controlador há um esquemático, ilustrado na Figura 32, que são as possíveis conexões para os comandos das 8 saídas (atuadores). O controlador possui uma interface amigável (IHM - interface homem maquina), o que permite o desenvolvimento de um software para facilitar a operação do sistema pelos operários uma vez treinados.

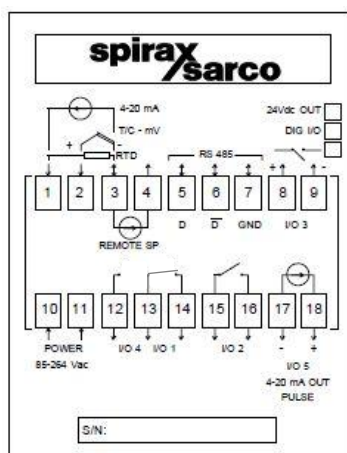


Figura 32 – Exemplo da vista do painel traseiro do SX-UNI (Spirax Sarco)



Com este controlador é possível obter a velocidade necessária na pesagem e no acionamento e desligamento dos componentes e atuadores, fatores de grande importância para a precisão e eficiência das pesagens.

### 5.7.2 Células de Carga

As células de cargas foram selecionadas tendo em vista a carga máxima que o equipamento permite e a faixa de potência de leitura especificada pelo controlador de processos.

Tendo em vista sempre que este dosador de micronutrientes está sendo projetado para operar junto a um misturador de 500 kg de ração, para esta situação observando a fórmula contida na Tabela 1, percebe-se que o micronutriente adicionado em maior quantidade é o enxofre elementar, que para uma mistura de 500 kg são adicionados 17,59 kg.

Desta forma, conclui-se que para obter uma capacidade nominal de carga de 20 kg seriam necessárias duas células de carga com uma capacidade de carga de 10 kg cada. Estas células juntas devem emitir um sinal para o controlador de processos de 4 a 20 mV. A célula de carga PW6DC3/10KG-1, ilustrada na Figura 33 da fabricante HBM atende perfeitamente todos os quesitos pré-definidos neste trabalho.



Figura 33 - Célula de carga 1-PW6DC3/10KG-1 da fabricante HBM (HBM)

As dimensões das células são importantes, pois para sua integração ao projeto é necessário conhecer em detalhes sua forma estrutural, para que seu suporte e a forma com que a carga for colocada nele não interfiram no seu processo de pesagem. Todas as informações sobre as dimensões e forma da célula estão explicitadas na Figura 34 disponibilizadas na folha de dados do fabricante (HBM).

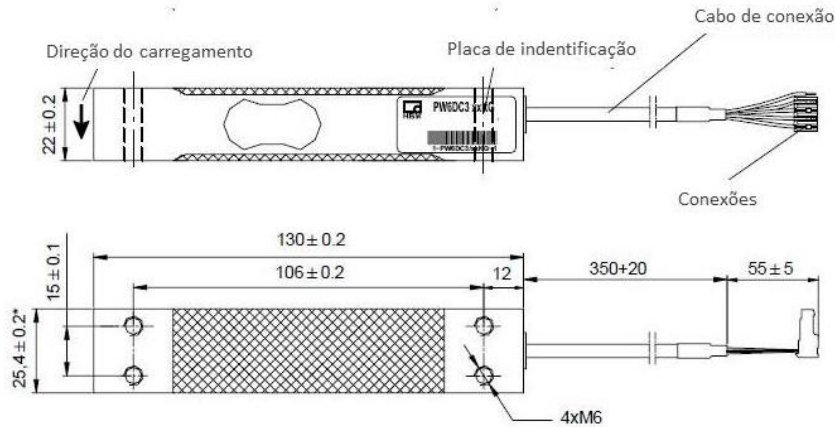


Figura 34 - Dimensões das células de carga

### 5.7.3 Atuador Rotativo

Para a seleção de um atuador rotativo utilizado para a abertura da tampa da caixa de pesagem primeiramente é necessário à definição do torque mínimo necessário para que a abertura seja realizada.

Para este cálculo é utilizada a carga máxima das células de carga, 10 kg cada, concentrada em uma das extremidades da tampa, criando assim uma situação em que o atuador teria teoricamente sua máxima solicitação, aplicando esses valores na Equação 20 obtém-se o torque mínimo desejado do atuador.

$$T_{\min} = F_{\text{peso}} \cdot 0,5L_{\text{tampa}} \quad (20)$$

Onde:

- $T_{\min}$  é o menor torque admitido para o atuador rotativo.
- $F_{\text{peso}}$  é a máxima carga admitida pelas células de carga.
- $L_{\text{tampa}}$  é a largura da tampa da caixa de pesagem.

A partir destes cálculos foi determinado que o atuador deve possuir um torque nominal mínimo de 8,44 N.m, para que ele consiga atuar no caso crítico.

O atuador precisa descrever um ângulo de 90°, para isso foi considerada à possibilidade de utilizar um atuador pneumático, para as fábricas que já possuem uma linha de ar comprimido em utilização, o que diminui significativamente os custos do atuador. Também é possível utilizar um atuador angular elétrico, ou um motor de passo.

A fábrica utilizada como referencia neste trabalho já faz uso de atuadores pneumáticos, é mais simples utilizar um elemento que aplique o mesmo princípio. Por estes motivos foi selecionado um atuador rotativo da marca Norgren M/60284/TI que permite a rotação desejada de 90°, disponibilizando um torque nominal de 9,5 Nm a 6 bar, o que atende com folga a solicitação mínima de torque determinada no projeto, com um consumo de 3,4 cm³ por ciclo, o atuador descrito é ilustrado na Figura 35.



Figura 35- Atuador rotativo selecionado (Norgren, 2001-2012)

A instalação pneumática do atuador se dará conforme é ilustrado na Figura 36, que explicita a necessidade de uma válvula 5/2 NO, normalmente aberta, com acionamento elétrico por intermédio de um solenoide.

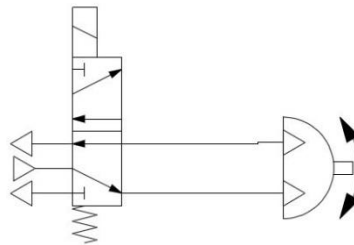


Figura 36 - instalação pneumática do atuador rotacional

A válvula selecionada também é fabricada pela Norgren, o modelo V405516-D, ilustrado na Figura 37, atende a todos os requisitos do projeto.



Figura 37 - Válvula pneumática 5/2 normalmente aberta (Norgren, 2001-2012)

#### 5.7.4 Motoredutor do Transportador Helicoidal

Para o acionamento do transportador helicoidal é necessário um motor elétrico que atenda as especificações exigidas pelo transportador projetado, tanto no que diz respeito à potência mínima necessária para a execução do trabalho ( $P$ ), como da rotação que permite a vazão mínima determinada ( $Q_{min}$ ).

Como o helicóide descrito no projeto demanda uma baixa rotação, não foi possível encontrar um motor que se adeque a máquina sem uso de uma redução, então por este motivo optou-se por fazer uso de um motoredutor.

O modelo de motor selecionado para o projeto é o DRS71SA da marca SEW Eurodrive de quatro polos com 0,37 kW de potência nominal, torque nominal de 2,55 Nm, rotação de 1380 rpm, massa de 7,8 kg. Este motor será utilizado em conjunto com uma redução R17, 1:5,09 do mesmo fabricante do motor, que possui uma rotação de saída de 275 rpm, (SEW Eurodrives). O motoredutor selecionado é mostrado na Figura 38.



Figura 38 - Motoredutor (SEW Eurodrives)

## 6 APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS

A proposta do Projeto de Graduação 1, era desenvolver um sistema capaz de dosar e misturar os micronutrientes mais utilizados para a confecção de rações para a nutrição animal. Durante a concepção do projeto observou-se que não havia necessidade de desenvolver um sistema de mistura, pois os existentes no mercado atendem com eficiência as exigências necessárias.

Partindo desta consideração, o foco do projeto tornou-se a concepção do sistema de dosagem. Para isso foram recolhidos dados junto a empresas e órgãos públicos, de modo a levantar um grande leque de diferentes micronutrientes e suas características, fazendo assim com que o sistema concebido seja o mais aplicável possível, garantindo assim uma boa variedade de públicos alvo.

Com o tipo de sistema de dosagem definido, foi possível buscar e desenvolver toda a metodologia necessária para o dimensionamento do equipamento, utilizando de normas e teorias devidamente especificadas no texto e na bibliografia.

O Projeto de Graduação 2, dedicou-se ao projeto propriamente dito, definindo primeiramente qual o público alvo, quais as flexibilidades do sistema, dessa forma tornando possível o desenvolvimento do layout definitivo.

O projeto aborda o caso mais crítico encontrado de dosagem, o que levou á uma máquina mais robusta, com um volume elevado e capacidade para dosagens maiores que as previstas no Projeto de Graduação 1. Mas o projeto mostrou-se versátil, de fácil adaptação a diferentes layouts fabris ampliando suas possibilidades de aplicação, o que torna a máquina competitiva e atrativa ao mercado consumidor.

É possível a construção de toda a máquina sem o uso de equipamentos sofisticados, durante o processo de desenvolvimento do protótipo, um dos pontos fortes a ser levado em consideração é o custo de manutenção e fabricação, e quão complexo poderiam se tornar esses processos. Outro aspecto relevante é a quantidade dos componentes encontrados facilmente no mercado, o que torna mais fácil a substituição dos componentes defeituosos, tornando a manutenção mais simples e de custo relativamente mais baixo.

A disposição dos elementos de projeto foi feita de modo que máquina ocupe o mínimo de área efetiva, para que a característica modular do projeto não seja um problema para os usuários, pois dispõe-se de pouco espaço na área de dosagem dos misturadores. O sistema de controle também viabiliza o uso de vários módulos de dosagem, pois cada controlador, do modelo selecionado, permite o controle de 2 módulos.

O sistema concebido tem como princípio de funcionamento um transportador helicoidal, que retira o material do silo onde ele é armazenado despejando-o em outro depósito, a caixa de pesagem, onde ele é pesado varias vezes até que atinja a quantidade previamente determinada nas fórmulas, quando esse peso é atingido um atuador abre a tampa da caixa de pesagem e despeja o material dosado. Cada elemento do sistema, com exceção do sistema de controle, encontra-se bem ilustrado na Figura 39.

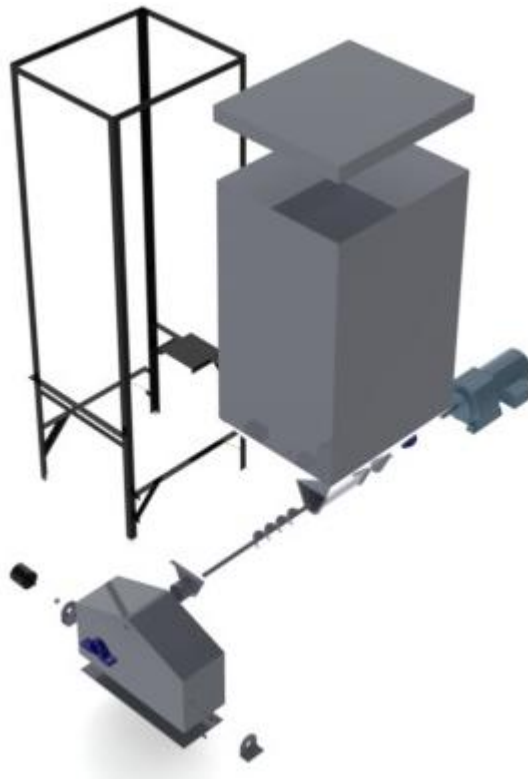


Figura 39 - Vista explodida do sistema de dosagem

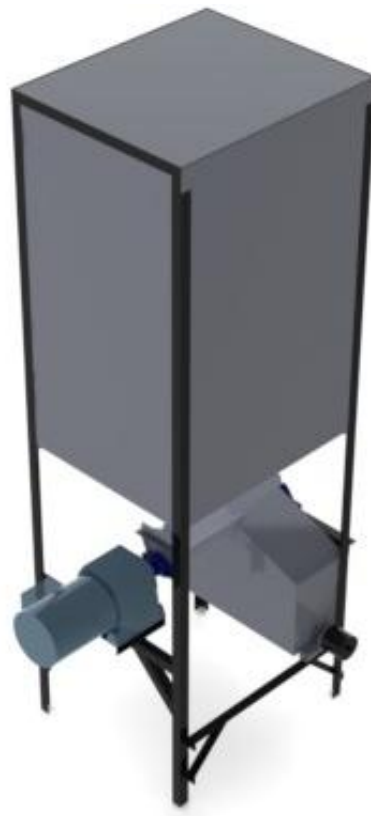


Figura 40 - Desenho em CAD do protótipo

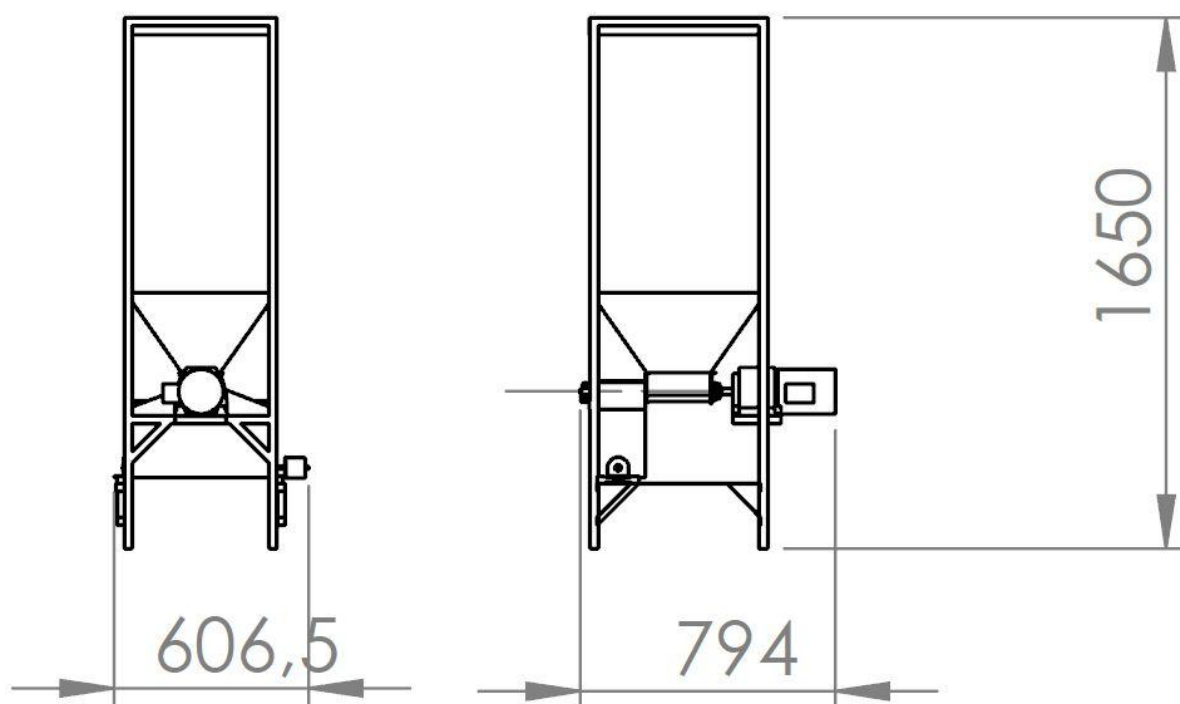


Figura 41 - Vista lateral e frontal do protótipo (cotas em milímetros)

O projeto foi orçado junto aos fabricantes e lojas, para definir os valores comerciais de cada componente. O orçamento foi feito no dia 15/02/2013, os valores disposto na Tabela 10 podem variar futuramente.

Tabela 10 - Custo dos componentes da máquina

<b>Item</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Preço</b>	<b>Total</b>
<b>Atuador</b>	1	1320,00	1320,00
<b>Válvula pneumática</b>	1	142,00	142,00
<b>Célula de carga</b>	2	475,00	950,00
<b>Rolamento YAT 203-010</b>	2	21,00	42,00
<b>Rolamento 61800</b>	2	5,000	10,00
<b>Caixa de mancal FYT 503 U</b>	1	24,00	24,00
<b>Caixa de mancal SY 503 U</b>	1	28,00	28,00
<b>Cantoneira 25X25X6000 mm</b>	2	27,80	55,00
<b>Tubo 5/8" diâmetro 9 mm de parede 6m</b>	0,083	14,50	1,20
<b>Controlador SX-UNI</b>	1	2077,00	2077,00
<b>Motoredutor R17 DRS71S4</b>	1	1136,74	1136,00
<b>Chapa 14 1,20 X 3 m</b>	1	193,00	193,00
<b>Mão de obra</b>	1	300,00	300,00
<b>Total</b>			6278,20



## 7 CONCLUSÃO

O projeto desenvolvido neste trabalho foi feito levando-se em consideração os micronutrientes dosados em maiores quantidades, o que torna o protótipo desenvolvido útil para dosagens com uma margem de erro mais elevada, devido ao elevado fluxo de massa proporcionado pelo transportador helicoidal, pelo próprio erro admitido pelas células de carga, quanto maior a sua capacidade maior o erro admitido em sua leitura.

Outro problema encontrado foi às dimensões da máquina, mesmo tendo sido reduzida a altura do equipamento, para facilitar sua recarga e aumentada à capacidade de carga em relação ao trabalho anterior, o módulo desenvolvido ainda possui uma altura considerável, tornando sua recarga mais desgastante que o desejado.

A grande vantagem deste projeto é sua flexibilidade, como por exemplo, a célula de carga selecionada possui varias capacidades de carga utilizando as mesmas dimensões, dispensando assim alterações estruturais no projeto e garantindo margens de erro menores para a dosagem de micronutrientes utilizados em quantidades menores. Outra vantagem é a possibilidade de alterar as dimensões do silo e da caixa de pesagem sem necessidade de projetar novamente o helicóide transportador, o circuito de controle, motoredutor, suporte e mancais. A única mudança necessária seria nas dimensões do silo e da caixa de pesagem e uma readequação da estrutura de sustentação.

Estas características tornam a ideia do sistema de dosagem mais vendável, pois existe a facilidade de adequar os módulos a qualquer layout fabril e a qualquer modelo de dosador, dispondo vários módulos de diferentes tamanhos, capacidades e tolerâncias, adequando cada módulo ao uso de cada micronutriente e os riscos que cada um destes procedimentos envolve.

Resumindo, o módulo de dosagem projetado neste projeto de graduação atende a todos os critérios estruturais mais críticos, atendendo também a situação limite de tempo, de forma que qualquer módulo menos solicitado que o projetado atenda com folga aos critérios de produção. A partir deste projeto qualquer módulo menor pode ser construído sem riscos estruturais e ao processo produtivo.

## 8 PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

Para o próximo trabalho, o primeiro passo é a construção efetiva do módulo de dosagem de micronutrientes. Este primeiro módulo deve seguir as características descritas neste trabalho, para verificação do bom funcionamento dos componentes selecionados e dimensionados.

Após a construção deve ser feito uso do módulo para que seja feita a aferição do erro efetivo do equipamento, de modo a oferecer com mais precisão o erro que ocorre em cada pesagem executada pelo equipamento. É aconselhável que sejam utilizadas células de cargas de diferentes capacidades de carga para levantamento dessas diferentes margens de erro.

Proponho também, após análise dos erros, a aplicação do protótipo construído a uma fábrica em operação, primeiramente dosando *premium*, que permite uma maior tolerância a erros e devido à possibilidade de uso de um único módulo. Isso tornará possível a análise do uso contínuo do módulo sem que haja a necessidade da construção de várias unidades.

Após o protótipo ser devidamente testado como estrutura única, devem-se construir mais módulos que trabalharão em conjunto, como proposto por este trabalho, para verificação do funcionamento dos módulos em conjunto no processo de produção de ração.

Com todos estes testes feitos é possível levar o equipamento ao mercado, sem comprometer a qualidade da ração produzida, pelo contrario, permitindo um maior controle dos parâmetros na produção, atingindo assim o objetivo de melhorar a qualidade do processo reduzindo a mão de obra utilizada.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anhambi Alimentos. 2012. Anhambi Alimentos. [Online] 2012. [Citado em: 31 de 03 de 2012.] <http://www.ferrazmaquinas.com.br/racoes>.
- CBNA. *Ração Peletizada, Colégio Brasileiro de Nutrição Animal*. Moji Mirim São Paulo : s.n.
- CEMA. 2009. CEMA Standard No.300. *Conveyor Equipment Manufactures Association*. Naples, Florida, Estados Unidos da América : s.n., 2009.
- EMBRAPA. 2011. EMBRAPA. [Online] setembro de 2011. [Citado em: 27 de abril de 2012.] <http://www.embrapa.br/>.
- EUROCODE 1. 1995. *ENV 1991-4 Part 4: Actions on silos and tanks*. Bruxelas : s.n., 1995.
- Fábrica de Projetos. 2012. Fábrica de Projetos. [Online] 2012. [Citado em: 15 de Abril de 2012.] <http://www.fabricadoprojeto.com.br/2010/01/transportadores-helicoidais/>.
- Fank, Marivone Zanella. 2010. Determinação do Coeficiente de Transferência de Cargas nas Fundações de Silos Verticais Cilíndricos de Base Semi-V. Cascavel, Paraná, Brasil : s.n., julho de 2010.
- Ferraz Maquinas. 2012. ferraz maquinas. [Online] 31 de 03 de 2012. <http://www.ferrazmaquinas.com.br>.
- HBM. HBM: transdutores, aquisição de dados, software de medição. [Online] [Citado em: 20 de 11 de 2012.] <http://www.hbm.com/pt/>.
- Indukern. Indukern do Brasil Quimica LTDA. [Online] [Citado em: 02 de Abril de 2012.] [http://www.indukern.com.br/nav/conteudo\\_produtos.asp?idCategoria=3](http://www.indukern.com.br/nav/conteudo_produtos.asp?idCategoria=3).
- Joseph E. Shigley, Charles R. Mischke, Richard G. Budynas. 2005. *Projeto de engenharia mecânica*. [trad.] José Manoel de Aguiar João Batista de Aguiar. Poto Alegre : Bookman, 2005. Vol. 7.
- KWS. *Screw Conveyors and Bucket Elevator Engineering Guide*. Burleson, Texa : KWS Manufacturing Company LTD.
- Lara, Marco Antonio Mayer. 2010. PROCESSO DE PRODUÇÃO DE RAÇÃO - MOAGEM, MISTURA E PALETIZAÇÃO. *Unifrango*. 14 de 07 de 2010.
- MAPA. 2009. Instrução Normativa 15/2009. *Diario Oficial da União*. 28 de maio de 2009.
- . 2007. Normativa 04/2007. *Diario Oficial da União*. 23 de fevereiro de 2007, pp. Seção 1, Página 5.
- Matweb. 1996-2013. Matweb.com. [Online] Matweb LLC., 1996-2013. [Citado em: 25 de 01 de 2013.] <http://www.matweb.com/>.
- MC Group. MC groupnet. [Online] [Citado em: 02 de Abril de 2012.] <http://www.mcgroupnet.com.br/site/busca.php?lvar=12>.
- Norgren. 2001-2012. Norgren express. *Norgren*. [Online] 2001-2012. [Citado em: 05 de 12 de 2012.] <http://store.norgren.com/uk>.
- Regler. [www.regler.com](http://www.regler.com). *Regler*. [Online] [Citado em: 18 de 11 de 2012.]
- Sacramento, Roberto C. 2003. Projeto e Contrução de um transportador helicoidal. Outubro 2003 de 2003.
- SEW Eurodrives. SEW Eurodrives. <http://download.sew-eurodrive.com/>. [Online] [Citado em: 09 de 12 de 2012.] <http://download.sew-eurodrive.com/download/pdf/16860012.pdf>.
- SKF. 2013. [www.skf.com](http://www.skf.com). [Online] 2013. [Citado em: 27 de 01 de 2013.]
- Spirax Sarco. [www.vmbrasil.com/](http://www.vmbrasil.com/). *VM Brasil*. [Online] [Citado em: 18 de 11 de 2012.] [www.vmbrasil.com/Catalogo\\_sxs\\_comp.pdf](http://www.vmbrasil.com/Catalogo_sxs_comp.pdf).
- Zani, Ariovaldo. 2011. *Indústria de Alimentação Animal, Boletim Informativo*. s.l. : Sindicato Nacional da Industria de Alimentação Animal, 2011.

## ANEXOS

		Pág.
Anexo I	ROTINA DE CÁLCULO DE PROPRIEDADES DO HELICOIDE	51
Anexo II	ROTINA DE CÁLCULO PARA EIXO DO TRANSPORTADOR HELICOIDAL	52
Anexo III	ROTINA DE CÁLCULO PARA PRESSÕES NO SILO	53

## ANEXO I: ROTINA DE CÁLCULO DE PROPRIEDADES DO HELICOIDE

---

```
%Programa dimensionamento Transportador helicoidal
%limpando a tela e a memoria
clear all
clc
%Constantes
lamb=1.92*10^(-3); %peso especifico da matéria [g/mm³]
k=1; %Fator de correção do angulo de inclinação (0 graus)
n=275; %Velocidade do eixo [rpm]
gama=0.95; %Fator de correção do volume ocupado [leve e pouco
abrasivo]
D=50; % Diâmetro da hélice [mm]
t=D %passo da hélice [mm]
L=200; %comprimento do transportador helicoidal [mm]
% Equações
s=gama*pi*(D^2)/4 %Área ocupada pelo material [mm²]
v=(t*n)/60 %velocidade de deslocamento do material [mm/s]
Q=s*v*lamb*k %Vazão massica obtida [g/s]
%Potencia requerida
Co=1.2;
P=Co*((Q*L)/367) %Potencia total
```

## ANEXO II: ROTINA DE CÁLCULO PARA EIXO DO TRANSPORTADOR HELICOIDAL

---

```
%Programa dimensionamento do eixo tubular
%limpando a tela e a memoria
clear all
clc
%Constantes
d_0=15.8*10^(-3);           %diametro externo do eixo[m]
d_i=14*10^(-3);            %diametro interno do eixo[m]
T_max=2.55;                 %torque máximo do motor[Nm]
r=d_0/2;                    %raio do eixo[m]
s_x=0;                      %tensão axial no eixo
S_y=350*10^6;               %resistencia de escoamento do material[MPa]
Sut=420*10^6;               %Resistencia a tração do material
selecionado[Mpa]
ka=4.51*420^(-0.265)        %fator de condição de superficie
kb=0.879*d_0^(-0.107)       %fator de tamanho
kc=0.59                     %fator de carga
kd=1;                       %fator de temperatura
ke=1;                       %fator de confiabilidade
kf=1;                       %fator de efeitos variados
S_e=0.504*Sut               %limite de resistencia corrigido
% Equações
J=3.14/32*(d_0^4-d_i^4)     %momento polar de area
t=T_max*r/J                 %tensão cisalhante maxima no eixo
s=(s_x^2+3*t^2)^(1/2)       %tensão equivalente do eixo
n=S_y/s                     %fator de segurança estático
s_a=s/2                     %componente de amplitude de tensão
s_m=s_a                    %componente média de tensão
Se=ka*kb*kc*kd*ke*kf*S_e   %Limite de resistencia no ponto critico
n_f=1/((s_a/Se)+(s_m/Sut)) %fator de segurança para fadiga
```

### ANEXO III: ROTINA DE CÁLCULO PARA PRESSÕES NO SILO

---

```
%Pressões do silo
%limpando a tela e a memoria
clear all
clc
%Constantes
gama=1.92*10^(-3); %Massa específica do material [g/mm³]
mi=1.2; %Coeficiente de atrito
K=1.1; %Taxa de pressão lateral
z=850; %Profundidade abaixo da superficie equivalente [mm]
A=258500; %Área da secção transversal do silo[mm²]
U=2024; %Perimetro interno da secção transversal do silo

%Funções
zo=(1/(K*mi))*(A/U) %
pho=gama*K*zo % Profundidade abaixo da superficie equivalente do
solido
Y=1-exp(-z/zo) %
phf=pho*Y % Pressão horizontal
pwf=mi*pho*Y % Pressão de fricção na parede
pvf=pho/K*Y % Pressão vertical
```